

669.017

К 840

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія



І. В. Кругляк
Д. О. Кругляк

МЕТАЛОЗНАВСТВО

Методичні вказівки
до лабораторних і практичних робіт

для студентів ЗДІА
першого (бакалаврського) рівня
спеціальності «Металургія»

Міністерство освіти і науки України
Запорізька державна інженерна академія

МЕТАЛОЗНАВСТВО

**Методичні вказівки
до лабораторних і практичних робіт**

*для студентів ЗДІА
першого (бакалаврського) рівня
спеціальності «Металургія»*

*Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри ОМТ,
протокол № ____ від _____.____.2017р.*

Запоріжжя
ЗДІА
2017

УДК 669.017
К 840

І. В. Кругляк, к.т.н. доцент
Д. О. Кругляк, к.т.н. доцент

Відповідальний за випуск: *зав. кафедри ОМТ,
д.т.н., професор В. О. Ніколаєв*

Рецензент:

С. А. Воденніков, д.т.н., професор, перший проректор Запорізької державної інженерної академії.

Кругляк І. В.

К 840

Металознавство: методичні вказівки до лабораторних і практичних робіт для студентів ЗДІА першого (бакалаврського) рівня спеціальності «Металургія». Видання 2-е, перероблене і доповнене / Кругляк І. В., Кругляк Д. О.; Запоріз. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2017. – 100 с.

Зміст

Вступ	4
Лабораторна робота № 1	5
Металографічний аналіз металів і сплавів	
Лабораторна робота № 2	11
Діаграма стану «Залізо - цементит»	
Лабораторна робота № 3	17
Вивчення мікроструктур вуглецевих сталей у рівноважному стані	
Лабораторна робота № 4	24
Вивчення стурктур і властивостей чавунів	
Лабораторна робота № 5	31
Термічна обробка сталі	
Лабораторна робота № 6	40
Титан і його сплави	
Лабораторна робота № 7	45
Алюміній і його сплави	
Лабораторна робота № 8	50
Мідь і її сплави	
Лабораторна робота № 9	54
Хіміко-термічна обробка сталі	
Завдання до контрольних робіт	61
Практичні завдання	63
Література	84
Додаток 1. Атлас макро- і мікроструктур чорних і кольорових металів і сплавів	85

Вступ

Металознавство – наука, яка вивчає зв'язок між хімічним складом, внутрішньою будовою та властивостями металів і сплавів і закономірності їх зміни від впливу зовнішніх факторів: теплових, хімічних, механічних, електромагнітних і радіоактивних.

Чорні і кольорові метали і сплави широко застосовують в різних галузях промисловості.

Найбільше застосування знайшли чорні метали. На основі заліза виготовляють не менше 90 – 95 % всіх конструкційних і інструментальних матеріалів. Широке поширення заліза і його сплавів пов'язано з великим вмістом його в земній корі, низькою собівартістю, високими технологічними та механічними властивостями.

У сучасній техніці широко застосовують сталі, які забезпечують високу конструктивну міцність, і сплави, які залишаються міцними при високих температурах, в'язкими при температурах, близьких до абсолютного нуля, що володіють високою корозійною стійкістю в агресивних середовищах або іншими фізико-хімічними властивостями.

Загальновідоме широке застосування титанових, мідних, алюмінієвих і магнієвих сплавів в промисловості. Вироби і напівфабрикати з цих сплавів, отриманні литтям і обробкою тиском, є найважливішими конструкційними матеріалами в транспортному машинобудуванні, в суднобудуванні, в приладобудуванні і т.д. За останні роки легкі сплави все більше застосовують в цивільному будівництві, для побутових цілей.

Правильне і найбільш раціональне використання металів і сплавів для потреб промисловості потребує насамперед глибокого знання їх природи і властивостей.

Успішне вивчення природи і властивостей чорних і кольорових металів і сплавів вимагає глибоких знань в області металографії, необхідних уявлень про загальні закони зміни найважливіших властивостей сплавів і їх складу і будови, а також оволодіння сучасними методами дослідження металів.

Перед виконанням лабораторної роботи слід вивчити теоретичну частину, засвоїти методику проведення експериментальної частини, ознакомитися з роботою обладнання і приладів, властивостями матеріалів і реактивів, забезпечити виконання вимог техніки безпеки.

У методичних вказівках використані підручники: «Металознавство і термічна обробка металів» [1- 2], «Матеріалознавство» [6] «Металографія промислових кольорових металів і сплавів» [7], «Лабораторний практикум з металознавства і термічної обробки» [19].

МЕТАЛОГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

Мета роботи - вивчити основні методи металографічного аналізу металів і сплавів, методику виготовлення макро- і мікрошліфів

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Властивості чистих металів і їх сплавів визначаються хімічним складом. Однак при однаковому хімічному складі можуть бути різні властивості в залежності від внутрішньої будови сплавів. Внутрішня будова залежить від умов кристалізації, умов обробки металу (гаряча або холодна пластична деформація), від термічної і хіміко - термічної обробки та ін. Властивості металів визначаються різними методами, які можна поділити на групи:

1. *Механічні методи дослідження.* Дослідження на розтягання, стиск, крутіння і т.д. Це дозволяє визначити зміцнюючі (твердість, межа міцності, границя текучості, межа витривалості й ін.) характеристики металу, а також пластичні (відносне подовження, відносний стиск, ударну в'язкість) характеристики.

2. *Фізичні методи дослідження* - термічний, електричний, магнітний, ділатометричний і т.д., що дозволяє по зміні тих або інших фізичних властивостей сплаву визначити перетворення, що відбуваються в металах або сплавах. Наприклад, температури алотропічних перетворень заліза можна визначити по зміні чи обсягу довжини (ділатометричний метод) або електроопір (електричний метод) при нагріванні або охолодженні стандартних зразків.

3. *Методи дослідження структури.* До структурних методів дослідження, які вивчають внутрішню будову металів і сплавів, відносяться рентгеноструктурний метод і металографічний аналіз. За допомогою рентгеноструктурного аналізу досліджується внутрішня будова кристалічних ґраток. Внутрішня будова, що визначається рентгеноструктурним аналізом, називається атомно - кристалічною структурою.

Металографічний аналіз поділяється на макро- і мікроаналіз.

При затвердінні зливка внаслідок нерівномірного охолодження утворюються кристали (зерна) різної величини та орієнтації. При цьому завдяки вибірковій кристалізації шкідливі домішки (сірка, фосфор і ін.) витісняються на границі зерен, що приводить до утворення міждендритної ліквації. У випадку тривалої кристалізації, домішки з малою щільністю (вуглець, сірка, фосфор і ін.) переміщуються з нижньої частини зливка у верхню - розвивається зональна ліквація. Завдяки усадці (зменшенню об'єму металу при охолодженні) утворюються усадочні раковини і пори, крім того, зниження розчинності газів при охолодженні рідкого металу може викликати утворення газових пор. Наступна обробка виробів - гаряча і холодна

пластична деформація, зварювання, термічна і хіміко-термічна обробка та інші - також значно впливає на структуру металу, отже, на його механічні і службові властивості. Тому контроль макро- і мікроструктури сплавів є одним з основних методів контролю їх якості.

Макроскопічний метод дослідження полягає у вивченні будови металу (його макроструктури) неозброєним оком, або за допомогою лупи чи бінокулярного мікроскопа при невеликих збільшеннях (до 30...50 раз). Це дозволяє спостерігати водночас велику поверхню заготовки або деталі та одержувати таким чином загальні відомості про якість металу, а також вибрати ділянки для подальшого мікроскопічного аналізу. Будова металів і сплавів, визначена неозброєним оком, називається *макроструктурою*.

Найчастіше макроструктура вивчається на макрошліфах. Розміри макрошліфа визначаються розмірами досліджуваної деталі, поковки і т.д.

Макрошліфом називається спеціально підготовлена до макродослідження частина деталі. Підготовка макрошліфа полягає в наступному: деталь розрізається на дві частини. Одна поверхня деталі зачищається на верстаті, далі шліфується різними номерами шліфувальних паст або папіру, послідовно переходячи від грубого номера до тонкого; при цьому напрям шліфування змінюється на 90° . Шліфування виконують поки не зникнуть ризки від попереднього шліфування, вручну або на верстаті.

За допомогою макроаналізу виявляють:

1. Будову металу або сплаву в литих деталях і зливках (зернисте, дендритне), наявність і характер розподілу зон кристалізації, усадочної раковини, міхурів, тріщин і т.д.

2. Хімічну неоднорідність, одержану в процесі кристалізації. Сірка, фосфор і вуглець в процесі кристалізації мають схильність до нерівномірного розподілу по перетину зливка, що сильно позначається на властивостях деяких ділянок зливка. Це явище називається *ліквіацією*, не усувається наступною обробкою.

3. Будова металу після гарячої обробки тиском (проката, штампування, кування і т.д.). Після обробки тиском внутрішня будова металів і сплавів виходить більш щільною, чим після лиття, тому що в процесі гарячої обробки тиском частково знищуються пористість, тріщини і т.д.

4. Неоднорідність складу і структури, яка утворюється після термічної або хіміко-термічної обробки. Деталі, яким необхідно мати високу міцність поверхні при збереженні вязкої, пластичної серцевини, піддають поверхневому загартовуванню або хіміко-термічній обробці, тобто поверхневому насиченню вуглецем (цементация), азотом (азотування) і т.д. з наступною термічною обробкою. Макроаналіз визначає глибину і характер розподілу загартованого, цементованого, азотованого шару.

5. Характер зламу металу і сплаву. По зламу можна встановити характер руйнування: грузле, крихке або викликане втомою.

При крихкому руйнуванні, що відбувається без помітної пластичної деформації, утворюється кристалічний (крихкий) злам, що характеризується наявністю на поверхні блискучих плоских сколів. Крихкі злами поділяються

на транскристалітні (руйнування по об'єму зерна) і міжкристалітні (руйнування по межам зерен). Вони дозволяють говорити про форму і розміри зерен.

При грузлому руйнуванні утворюється волокнистий, або грузлий злам, по якому внаслідок пластичної деформації важко судити про форму і розміри зерен. При змішаному зламі утворюються ділянки грузлого і крихкого руйнувань.

Втомний злам - спостерігається в деталях, що працюють при багаторазових ($10^6 \dots 10^7$ циклів) змінних і, особливо, знакозмінних навантаженнях (вали, осі, шестерні, ресори, пружини). За цих умов руйнування може розвиватися при початкових напругах, що значно нижче не лише границі міцності, а й границі плинності. Таке явище називають втомою металу, і полягає воно у тому, що при багаторазових навантаженнях в місцях з найбільшою концентрацією напруг та з наявністю різних дефектів, різних переходів, перетинів виникають мікротріщини. Це призводить до збільшення концентрації напруг і, як наслідок, до подальшого розвитку тріщини (зона поступового руйнування). При цьому деталь продовжує працювати, тому стінки тріщини внаслідок взаємного тертя загладжуються. Дійсний (робочий) перетин деталі зменшується і під дією одного із максимальних навантажень деталь руйнується.

Мікроструктурний метод дослідження застосовують для вивчення мікроструктури за допомогою світлового мікроскопу при збільшеннях 50...1500 разів. При використанні мікроскопічного аналізу виявляють форму та розміри зерен, зміни в структурі після гарячої та холодної деформації, термічної та хіміко-термічної обробки; мікродефекти металу: тріщини, раковини; неметалеві вкраплення: сільфідів, оксидів, нітридів, алюмінатів, силікатів, графіт (у чавунах), тощо.

Стандартним розміром мікрошліфа вважається мікрошліф із площею перетину 1 см^2 . На практиці часто виготовляють шліфи малих і великих розмірів. При виготовленні шліфів із дрібних деталей, наприклад із дроту, або при дослідженні краю зразка, його заливають легкоплавким сплавом, сіркою, пластмасою, або затискають у спеціальні *струбцини* (рис. 1.1). Міцність сплаву струбцин обирається вищою за міцність досліджуваного зразка.

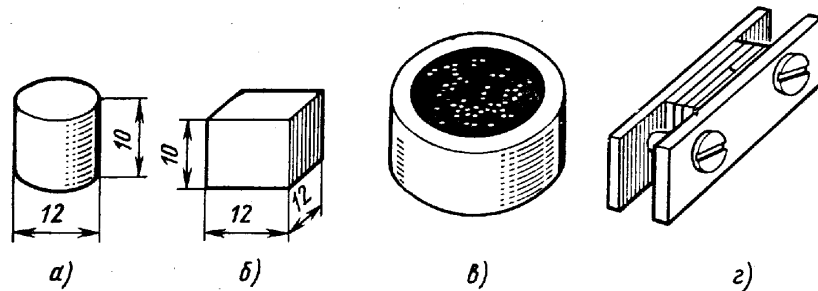


Рисунок 1.1 - Розмір металографічних зразків (а і б) і пристосування для зразків малого розміру (в и г)

Шліфування поверхні зразка. Зразок спочатку шліфують за допомогою абразивного круга, потім на наждачному папері, розміщеному на плоскій основі (склі). Шліфування закінчують на папері з дрібним зерном, при цьому напрям шліфування змінюють на 90°. Підготовлену поверхню протирають спиртом і щавлять у реактиві, склад якого залежить від металу або хімічного складу стопу.

Абразивний матеріал характеризується номером зернистості, який пов'язаний з розміром зерен основної фракції (табл. 1.1) і вмістом основної фракції (табл. 1.2).

Можна шліфувати також спеціальними пастами, нанесеними на невеликі листи паперу.

Таблиця 1.1 - Крупність основної фракції (ДСТ 3647 - 80)

Номер зернистості	Крупність основної фракції, мкм	Номер зернистості	Крупність основної фракції, мкм	Номер зернистості	Крупність основної фракції, мкм
200	2500-2000	320	250-200	M63	63-50
160	2000-1600	16	200-160	M50	50-40
125	1600-1250	12	160-125	M40	40-28
100	1250-1000	10	125-100	M28	28-20
80	1000-800	8	100-80	M20	20-14
63	800-630	6	80-63	M14	14-10
50	630-500	5	63-50	M10	10-7
40	500-500	4	50-40	M7	7-5
32	400-315	3	40-28	M5	5-3
25	315-250	-	-	-	-

Таблиця 1.2 - Вміст основної фракції

Індекс	Вміст основної фракції (%) для зернистості							
	200-32	25-16	12-8	6-4	3	M63-M28	M20-M14	M10-M5
В	-	-	-	-	-	60	60	55
П	55	55	55	55	-	50	50	45
Н	45	43	45	40	40	45	40	40
Д	41	39	41	36	36	42	37	37

Полірування поверхні зразка. Після закінчення шліфування на шліфувальному папері дрібної зернистості поліруванням видаляють риски й поверхня зразка виходить блискуче дзеркальною. Полірувати можна механічним і електролітичним способами.

Механічне полірування проводять на спеціальному полірувальному верстаті з обертовим колом діаметром 200 - 250 мм, яке обтянуте сукном або фетром. Частота обертання кола від електродвигуна дорівнює 700 - 800 об/хв.

Сукно змочують полірувальною рідиною. До обертового кола із сукном притискають відшліфовану поверхню зразка. Полірування проводять до повного видалення рисок, до утворення дзеркальної поверхні.

Щоб одержати гарний результат полірування, зразок не слід сильно притискати до сукна, тому що при цьому хоча і прискорюється видалення рисок, але відбувається деформування поверхневого шару і перекручування структури, викришування тендітних включень. Сильний тиск на зразок приводить і до більш швидкого висихання полірувальної рідини, до можливого пригорання поверхні. Полірувальний склад: розчин у воді порошку окису алюмінія (глинозем), окису хрому, окису заліза (крокус) і окису магнію (магнезія). Частіше для полірування застосовують окис хрому й окис алюмінію.

Після полірування зразок промивають водою; поверхню спиртом й просушують фільтрувальним папіром. Для збереження шліф розміщують у ексикатрі. Для того, щоб шліфи не окислювались, в нижню частину ексикатора розміщують гігроскопічну речовину (хлористий кальцій), яка поглинає вологу.

Труїння. По дзеркальній поверхні зразка, отриманого після полірування, не можна судити про будову сплаву. Тільки неметалічні включення (сульфіди, оксиди, графіт у сірому чавуні) внаслідок їх оквашування в різні кольори різко виділяються на світлому тлі полірованого мікрошліфа. У зв'язку з цим для виявлення мікроструктури поліровану поверхню зразка піддають дії розчинів кислот, лугів, солей (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 - Склад і призначення деяких електролітів

Склад електроліту	Режим роботи				Призначення
	Щільність струму, А/см ³	Напру-га, В	Трива-лість, с	Мате-ріал катода	
1. Сірчана кислота	0,3 - 0,4	-	180 -300	Свинець	Електролітичне полірування нікелю при 40 °С
2. Ортофосфорна кислота, сірчана кислота, вода	0,1	2,2	600-900	Мідь	Електролітичне полірування міді при 20°С
3. Ортофосфорна кислота - 100 м, оксид хрому (III) - 10 г	0,05-0,08	2,2	30	Нержа-віюча сталь	Електролітичне полірування алюмінію
4. Аміак (концентрований)	0,02	4-6	10-20	-, -	Електролітичне травлення нікелю
5. Сірчаноокисле залізо - 3 м, їдкий луг 0,4 м, сірчана кислота - 10 см ³ , вода 190 см ³	0,005	8-10	15	-, -	Електролітичне травлення міді
6. Їдкий луг - 10 м, вода - 50 см ³	0,005	4	120-240	Мідь	Електролітичне травлення магнієвих сплавів

При трюїнні неоднорідні ділянки металу або сплаву стають видимими під мікроскопом. Сутність процесу виявлення структури металів і сплавів трюїнням полягає в різному ступені розчинення або фарбування окремих структурних складових – зерен металів, твердих розчинів, хімічних сполук.

Прилади і матеріали

Металографічні мікроскоп, зразки для дослідження, шліфувальна шкурка наступних розмірів зернистості: 20, 12, 6, 3, М63, М40, М28, М14, М10, М7, М5, набір шліфувальних паст, реактиви для приготування розчинів для травлення (див. табл. 1.3), установка для електролітичного полірування, вата, спирт, фільтрувальний папір, струбцини, оправки, сплав Вуда, шліфувальний верстат, парафін, оксид магнію і хрому, дистильована вода.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити зовнішні дефекти на деталях (зразках), будову різних видів зламів.
2. Навчитися виготовляти шліфи для мікро- і макроаналізу.
3. Приготувати мікрошліф і замалювати його структуру. Досліджувати під мікроскопом поверхні мікрошліфа до травлення, після травлення.

Контрольні питання

1. Сутність і призначення макроаналізу
2. Що таке макроструктура? Види її контролю
3. Види зламів. Яким чином за виглядом зламу визначається характер руйнування матеріалу?
4. Що таке макрошліф? Методика його приготування.
5. Сутність і призначення мікроаналізу.
6. Методика приготування мікрошліфів.
7. Що називається фазою, структурою, системою?
8. Дайте характеристику абразивних матеріалів.
9. Як поділяються абразивні матеріали в залежності від крупносій зерна?
10. Які способи полірування Ви знаєте?
11. Як зберігаються шліфи?

ДІАГРАМА СТАНУ ЗАЛІЗО – ЦЕМЕНТИТ

Мета роботи: вивчити структурні перетворення в залізобуглецевих сплавах в залежності від їх хімічного складу та температури

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Складність діаграми $Fe-Fe_3C$ (рис. 2.1) зумовена тим, що у залізобуглецевих сплавах, окрім первинної кристалізації (рідина-тверда фаза) відбуваються процеси вторинної кристалізації в твердому стані, які пов'язані з поліморфними перетвореннями заліза та зменшенням розчинності вуглецю у фериті та аустеніті.

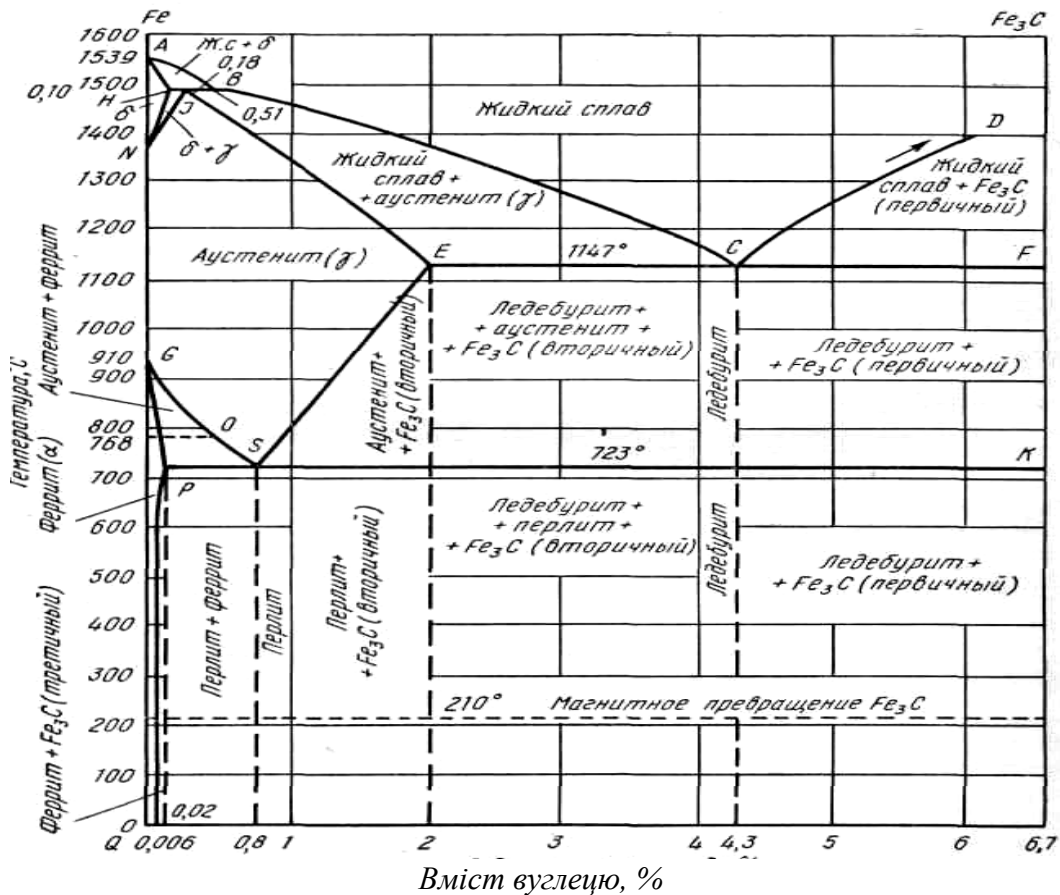


Рисунок 2.1 - Діаграма стану «залізо- цементит»

Залізо - метал з температурою топлення 1539°C. Атомний радіус 0,127 нм. Залізо поліморфне. Нижче 911°C та в інтервалі 1392...1539 °C має ОЦК ґратку з параметром 0,286 нм при 20°C. Заповнення об'єму ґратки атомами на 68%. Низькотемпературна модифікація позначається α-Fe, високотемпературна – δ - Fe. В інтервалі температур 911...1392 °C існує γ-Fe з ГЦК ґраткою, параметри якої 0,3645 нм, заповнення об'єму ґратки атомами на 74

%. Між атомами заліза існує металевий тип зв'язку. Нижче 768 °С α -Fe феромагнітне, γ -Fe – парамагнітне.

Залізо характеризується низькими рівнями міцності, твердості та високою пластичністю ($\sigma_B = 150...2000$ МПа; НВ 60...70; $\delta = 60\%$).

Вуглець – неметал з температурою топлення 3600°С, атомним радіусом – 0,077 нм. Має дві алотропічні модифікації - графіт і алмаз. У формі алмазу вуглець в металевих сплавах не присутній. Кристалічна решітка графіту - гексагональна, не плотноупакована, з координаційним числом 6. Графіт не міцний, та не пластичний.

В Fe - C сплавах розрізняють фази: рідкий розчин; ферит (Ф); аустеніт (А); цементит (Ц) і графіт (С).

Ферит - твердий розчин втілення атомів вуглецю в α -Fe ОЦК гратці заліза. Розрізняють низькотемпературний α -ферит з граничною розчинністю вуглецю 0,02% при 727°С та високотемпературний δ -ферит (0,1 % С при 1499 °С). Механічні властивості фериту: $\delta = 40...50\%$; НВ 80...90.

Аустеніт - твердий розчин втілення атомів вуглецю в γ -Fe ГЦК гратці. Аустеніт має наступні механічні властивості фериту: $\delta = 50...60\%$; НВ 160...200. Фаза в'язка, парамагнітна .

Цементит (карбід заліза) - хімічна сполука Fe_3C , що містить 6,67 %С.

Кристалічна гратка цементиту дуже складна ромбічна, характеризується металевим і іонним зв'язком між атомами заліза. і графіту. Тому цементит має високу твердість НВ ≥ 800 , крихкість і практично нульову пластичність. Цементит – метастабільна фаза і у високовуглецевих сплавах ($>2,14\%$ С) при дуже повільному охолодженні замість нього може утворюватися графіт. Цементит має металевий блиск, володіє тепло- і електропровідністю, малими магнітними властивостями. Температура плавлення цементиту точно не встановлена, так як цементит є нестійкою хімічною сполукою та при високих температурах розпадається на залізо та вуглець по реакції: $Fe_3C \rightarrow 3Fe + C$.

Температура плавлення цементиту приблизно 1600 °С.

Графіт – стабільна модифікація вуглецю, має складну гексагональну кристалічну гратку. Густина графіту 2,26 г/см³. Твердість 3...5 НВ, значна крихкість, пластичність практично відсутня.

Перліт II - евтектоїдна фазова суміш фериту і цементиту, що містить 0,8%С. Властивості перліту залежать від дисперсності ферито-цементитної суміші та форми цементиту. Грубопластинчастий перлит має властивості: $\sigma_B = 500...6000$ МПа; НВ 160...250; $\delta = 8...15\%$. Більш дисперсний перлит має більшу міцність та меншу пластичність.

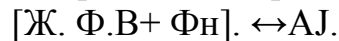
Ледебурит - евтектична фазова суміш цементиту та аустеніту в інтервалі температур 1147...727°С, перліту і цементиту – при температурах нижче 727°С. Середній вміст вуглецю в ледебуриті 4,3%. Ледебурит утворюється в залізовуглецевих сплавах, що містить більше 2,14%С. Ледебурит містить 64 % цементиту, тому він твердий НВ ≥ 600 та крихкий.

Позначення лінії діаграми стану

Лінія **ABCD** - лінія ліквідус. Вище цієї лінії всі сплави знаходяться в рідкому стані, що представляє собою рідкий розчин.

Лінія **АНJESF** - лінія солідус. Нижче цієї лінії всі сплави знаходяться в твердому стані.

Лінія **AB** - початок виділення з рідкого розчину кристалів фериту. Склад рідкої фази при зниженні температури буде змінюватися по лінії АВ (ліквідус), склад твердої фази по лінії АН (солідус). При досягненні температури 1485 °С (рис. 2.1) склад рідкої фази буде відповідати точці **В**, а склад твердої фази фериту - точці **Н**. Рідина і ферит при цій температурі почнуть реагувати між собою, в результаті чого утворюються нові кристали - кристали аустеніта складу, відповідного точці **Ж**. Це перетворення носить назву *перитектичного*. Отже, лінія **НJB** температура перитектичного перетворення. Реакція утворення перитектики протікає в такий спосіб:



Для утворення 100% аустеніту складу точки **Ж** необхідно, щоб кількість рідкої фази була пропорційна відріzkу **ЖН**, а кількість твердої фази відріzkу **ВЖ** (рис.2.1). Таким чином, для сплавів, що лежать лівіше точки **Ж** і мають надмірну кількість фериту, при перитектичній реакції не весь ферит піде на утворення аустеніту, частина фериту залишиться у вигляді надлишкової фази. Нижче перитектичної температури структура таких сплавів - ферит і аустеніт. Для сплавів, що лежать правіше точки **Ж**, буде знаходитися в надлишку рідка фаза. Нижче перитектичної температури - дві фази: рідка і аустеніт. На лінії перитектики завжди знаходяться в рівновазі три фази певного складу. В даному випадку: $A_{0,16\%C}$, $\text{Ф}_{0,1\%C}$ і $\text{Ж.Ф}_{0,5\%C}$. Число ступенів волі $C = 0$.

Лінії **BC** і **DC** - температури початку кристалізації аустеніту (**BC**) і первинного цементиту (**DC**). При виділенні кристалів аустеніту з рідкої фази склад рідкої фази збагачується вуглецем і по мірі зниження температури змінюється по лінії **BC** (ліквідус). Склад твердої фази (аустеніта) при цьому збагачується вуглецем і змінюється по лінії **JE** (солідус). При виділенні з рідкої фази кристалів первинного цементиту складу її збіднюється вуглецем і змінюється з пониженням температури по лінії **DC** (ліквідус). Склад твердої фази (цементиту) при цьому постійний.

При досягненні температури 1130 °С склад рідкої фази для будь-якого сплаву між точками **Е** і **F**, відповідає точці **С** (4,3% С). При цій температурі рідка фаза даного складу (4,3% С) кристалізується з утворенням евтектичної (механічної) суміші, що складається з аустеніту складу точки **Е** і цементиту складу точки **F**. Ця евтектика носить назву ледебурита. Отже, лінія **ESF** позначає евтектичну температуру, тобто, температуру утворення ледебурита. Реакція утворення ледебурита:



Утворення евтектики ледебурита відбувається при строго певній температурі. При цьому в рівновазі знаходяться завжди три фази певного складу: $\text{Ж.Ф.}_{4,3\%C}$; $A_{2\%C}$; $\text{Fe}_3\text{C}_{6,67\%C}$. Число ступенів волі $C = 0$. Для утворення

100% ледобурита необхідно, щоб кількість цементиту була пропорційно відрізьку **ЄС**, а кількість аустеніту - відрізьку **СФ**. Отже, для сплавів, розташованих лівіше точки **С**, в надлишку знаходиться аустеніт і структура таких сплавів після затвердіння складається з аустеніту і ледобуриту; для сплавів, розташованих правіше точки **С**, в надлишку знаходиться Fe_3C , тому структура цих сплавів після затвердіння складається з первинного цементиту і ледобуриту.

При подальшому охолодженні залізовуглецевих сплавів, що затверділи нижче лінії **НІЕСР** (солідус) відбуваються процеси, пов'язані зі зменшенням розчинності вуглецю в залізі γ і α , а також процеси, які обумовлюються алотропічним (поліморфним) перетворенням заліза.

Лінії **GS** і **ES** - температури початку вторинної кристалізації фериту (**GS**) і вторинного цементиту (**ES**) з аустеніту. Склад аустеніту при зниженні температури змінюється. Для сплавів, що лежать лівіше точки **S**, - по лінії **GS**, для сплавів, що лежать правіше точки **S**, - по лінії **ES**. При досягненні температури $723^{\circ}C$ склад аустеніту відповідає точці **S** (0,8% C). При цій температурі аустеніт складу точки **S** перетворюється в евтектоїдну (механічну) суміш, що складається з фериту складу точки **P** і цементиту складу точки **K**, яка носить назву перліту. Отже, лінія **PSK** - температура утворення перліту - евтектоїда.

Реакція утворення перліту: $As \leftrightarrow PS (ФР + F_3C)$.

Утворення перліту (евтектоїда) відбувається при строго певній температурі. При цьому в рівновазі знаходяться завжди три фази складу: $A_{0.8\% C}$; $\Phi_{0.025\% C}$; $F_3C_{6.67\% C}$. Число ступенів волі дорівнює нулю.

Для утворення 100% перліту необхідно, щоб кількість цементиту була пропорційна відрізьку **SP**, а кількість фериту відрізьку **SK**. З діаграми (рис. 2.1) видно, що для сплавів, які розташовані лівіше точки **S**, в надлишку буде знаходитися ферит. Структура таких сплавів нижче температури евтектоїдних перетворення складається з перліту і фериту. Для сплавів, розташованих правіше точки **S**, в надлишку знаходиться цементит. Структура цих сплавів складається з перліту і вторинний цементит.

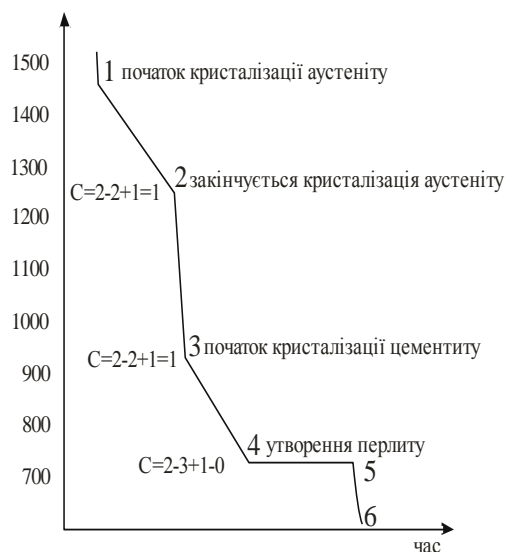
Лінії **GP** - температура кінця вторинної перекристалізації аустеніту в фериті. При охолодженні залізовуглецевих сплавів нижче лінії **PSK** почнеться третинна перекристалізація, яка пов'язана зі зменшенням розчинності вуглецю в фериті. Лінія **PQ** - температура початку кристалізації третинного цементиту з фериту.

Експериментальна частина

Накреслити діаграму **Fe-Fe₃C**, описати будову сплавів у всіх областях діаграми. Дати визначення всім лініям і точкам діаграми, а також всіх структурних складових. Вивчити всі перетворення, що відбуваються при нагріванні і охолодженні сталей і чавунів.

Побудувати криві охолодження сплавів, заданих викладачем. Описати процеси, що відбуваються при охолодженні даних сплавів.

Приклад побудови кривої охолодження (для області заевтектоїдних сплавів). Швидкість охолодження розплаву визначається кутом нахилу відрізка по відношенню до осей координат «температура-час» (рис. 2.2).



При зниженні температури нижче точки 1 починається кристалізація: з розплаву виділяються кристали аустеніту. Такий процес супроводжується виділенням прихованої теплоти кристалізації. Оскільки швидкість тепловідведення в зовнішнє середовище при цьому не змінюється, таке виділення тепла призводить до зниження швидкості охолодження. В результаті в точці 1 спостерігається перегин, і відрізок 1-2, що відповідає швидкості охолодження нижче точки 1, матиме менший кут нахилу.

Правильність побудови перевіряється застосуванням правила фаз Гібса:

$$C = K - \Phi + 1,$$

де C - число ступенів волі; K - число компонентів; Φ - число фаз.

Для точки 1: $C = 2 - 2 + 1 = 1$. Одна ступень волі двофазної системи (аустенітна рідина) показує, що з двох змінних факторів (температури і концентрації) незалежно може змінюватися тільки 1. В даному випадку змінюється температура, цьому відповідає похилий відрізок 1-2.

При досягненні температури точки 2 кристалізація закінчується, разом з цим завершується виділення прихованої теплоти кристалізації, і тому швидкість охолодження нижче цієї точки збільшується. Відповідно до цього ухил ділянки 2 - 3 збільшується.

При зниженні температури нижче точки 3 розпочинається кристалізація вторинного цементиту, який виділився з аустеніту. Швидкість охолодження на ділянці 3-4 зменшується, і відповідно зменшується кут нахилу його по відношенню до осей координат. Застосування правила фаз двофазної системи (аустеніт + цементит) дає 1 ступінь волі.

При охолодженні сплаву до точки 4 склад аустеніту відповідає точці S (0,8 %C), і подальше охолодження призведе до утворення двофазної структури - перліту. Тому, при температурі точки 4 одночасно повинні

існувати три фази: аустеніт, ферит і цементит. Ферит входить до складу перліту, а цементит, що присутній в перліті, у вигляді надлишкової фази (вторинний цементит). Застосуємо правило фаз для трифазної системи:

$$C = 2 - 3 + 1 = 0$$

Це означає, що при температурі точки 4 система інваріантна, тобто ні температура, ні концентрація не можуть змінюватися, поки не зникне одна з фаз. Цим пояснюється поява на кривій охолодження горизонтальної ділянки 4-5. Після завершення розпаду аустеніту система знову стає двофазною, і завдяки цьому набуває 1 ступінь волі. На кривій охолодження з'являється остання ділянка 5 - 6 охолодження до кімнатної температури.

Контрольні питання

1. Чим характеризується діаграма Fe – Fe₃C?
2. Що таке поліморфізм заліза?
3. Чим характеризується α - залізо, γ - залізо?
4. Які властивості цементиту?
5. Чим характеризуються точки діаграми?
6. Назвіть структурні складові діаграми, які їх властивості?
7. Назвіть лінії діаграми Fe – Fe₃C.
8. Вкажіть перитектичне перетворення на діаграмі «Fe – Fe₃C».
9. Напишіть реакцію утворення ледебуриту.

ВИВЧЕННЯ МІКРОСТРУКТУР ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ У РІВНОВАЖНОМУ СТАНІ

Мета роботи: вивчити мікроструктури технічного заліза, вуглецевих сталей в рівноважному стані

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Сталі – сплави заліза з вуглецем, що містять 2,14%С. Від концентрації вуглецю в сталі залежить її структура, властивості та призначення.

Класифікація сталей за структурою в стані рівноваги

Діаграма стану $Fe - Fe_3C$ дозволяє визначити структуру сталі в стані рівноваги, тобто після дуже повільного охолодження. На практиці структури, що близькі до рівноваги, досягаються при відпалюванні з повільним охолодженням разом із печю. В залежності від вмісту вуглецю сталі за структурою в рівноваговому (відпаленому) стані поділяються на наступні групи:

Технічне залізо - $\leq 0,02\%C$. Структура - ферит або ферит з цементитом (третинним);

Доевтектоїдні сталі – $0,02\% < C < 0,8\%$ (С – вміст вуглецю в процентах. Структура – ферит (світлого кольору) та перлит (темного). З підвищенням вмісту вуглецю частка перлитної складової зростає;

Евтектоїдна сталь - $0,8 \%C$. Структура – перліт, при невеликих збільшеннях мікроскопа – це темного кольору складова частина структури. При збільшенні до 500 крат і більше виявляється двофазна будова перлиту (Ф + П);

Заевтектоїдні сталі - $0,8\% < C < 2,14 \%$. Структура – перліт і цементит (вторинний), що утворюється при повільному охолодженні по межах зеоен у вигляді цементитної сітки.

Чисте залізо - метал сріблясто-білого кольору. Чисте залізо, що може бути отримано в даний час, містить 99,999 %, технічне 99,8 – 99,9 %. Температура плавлення заліза 1539 °С.

Залізо має дві поліморфні модифікації α і γ . Модифікація α -заліза існує при температурах нижче 910 °С і вище 1392 °С, рис. 3.1. В інтервалі температур 1392 – 1539 °С α -залізо нерідко позначають як δ -залізо.

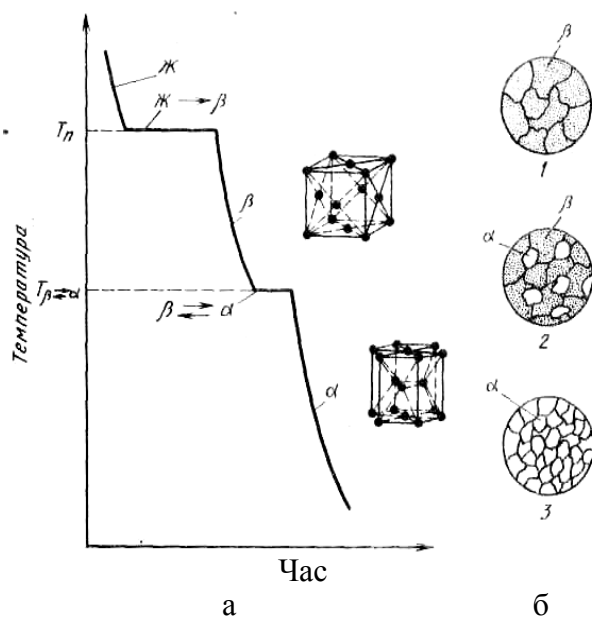


Рисунок 3.1 - Крива охолодження чистого заліза

Вуглець є неметалічним елементом II періоду IV групи періодичної системи, щільністю $2,5 \text{ г/см}^3$, температурою топлення $3500 \text{ }^\circ\text{C}$. Вуглець поліморфен, у звичайних умовах він знаходиться у вигляді модифікації графіту, але може існувати й у вигляді метастабільної модифікації алмаза.

Вуглець розчинний у залізі в рідкому і твердому станах, а також може бути у вигляді хімічної сполуки - цементиту, у високовуглецевих сплавах у вигляді графіту.

У системі Fe-C розрізняють наступні фази: рідкий сплав, тверді розчини – ферит і аустеніт, а також цементит і графіт.

Незначне збільшення вмісту вуглецю, навіть до сотих часток відсотка, унаслідок його незначної розчинності α -залізі (до $0,006 \%$ при $20 \text{ }^\circ\text{C}$) викликає утворення другої фази – цементиту. При вмісті вуглецю приблизно до $0,025 \%$ він присутній в структурі у вигляді невеликої кількості третинного цементиту, що виділяється з ферита при охолодженні внаслідок зменшення розчинності вуглецю. Третинний цементит розташовується головним чином по границях зерен ферита, що знижує пластичність і в'язкість сталі.

Залізо з вмістом домішок $0,01 \dots 0,1 \%$ має наступні властивості: твердість по Бринелю $70 \dots 80 \text{ НВ}$; міцність на розрив $\sigma = 200 \dots 250 \text{ МПа}$; відносне подовження $\delta = 50 \dots 55 \%$; ударна в'язкість $KC^{+20} = 220 \dots 250 \text{ кДж/м}^2$.

На діаграмі стану «залізо-вуглець» позначені структури, що утворюються при зміні температури в умовах, близьких до рівноважних, тобто при дуже повільному охолодженні або нагріванні. До складу цих структур входять наступні фази.

Ферит (Ф) – твердий розчин вуглецю в α -залізі з об'ємноцентрованою ґраткою (ОЦК). Максимальна розчинність вуглецю у фериті $0,006\%$ при температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$ і $0,025\%$ – при температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Ферит має дуже низькі міцність і твердість, але дуже пластичний.

Цементит (Ц) – хімічна сполука заліза з вуглецем. У такому з'єднанні вміст вуглецю 6,67%. Цементит має дуже високу твердість, але дуже тендітний. Цементит має складні ромбічні грати з щільним упакуванням атомів. Цементит є метастабільною фазою. В умовах рівноваги в сплавах з високим вмістом вуглецю утворюється графіт.

Аустеніт (А) – твердий розчин вуглецю в γ -залізі з граніцентованою граткою (ГЦК). Максимальна розчинність вуглецю в аустеніті складає 2,14%. Твердість і міцність аустеніту приблизно в три рази вище, ніж фериту. Так само, як і ферит, він має високу пластичність.

Перліт (П) – однорідна механічна суміш кристалів фериту і цементиту, у якій кристали цементиту рівномірно розподілені в масі фериту. Така структура називається *евтектоїдом*. Вміст вуглецю в евтектоїді складає 0,8 % . Перліт має підвищену твердість і міцність, але пластичність його значно нижче, ніж фериту й аустеніту.

Вуглецеві сталі в залежності від вмісту вуглецю і мікроструктури поділяються на три групи: доевтектоїдні ($0,02 \% < C < 0,8 \%$), евтектоїдні - структура перліт (П) і заевтектоїдні ($0,8\% < C < 2,14$). По призначенню доевтектоїдні сталі – структура: перліт + ферит (П + Ф); евтектоїдні сталі ($C = 0,8 \%$) - структура перліт, відносяться до конструкційних, заевтектоїдні – до інструментальних.

Мікроструктура доевтектоїдних сталей складається з фериту і перліту. Чим більше в сталі перліту, тим вище її твердість і міцність. У фериті при звичайній температурі вміст вуглецю не більш 0,006 %. Тому весь інший вуглець, що входить до складу доевтектоїдної сталі, утримується у виді хімічної сполуки – цементиту, що входить до складу перліту. З підвищенням вмісту вуглецю збільшується частка об'єму, яку займає перліт і, як наслідок – зростає твердість і міцність сталі. На рис. 3.2 показані мікроструктури доевтектоїдної сталі з різним вмістом вуглецю. Мікроструктура – евтектоїдної сталі складається тільки з перліту. Існує два різновиди перліту – пластинчатий і зернистий.

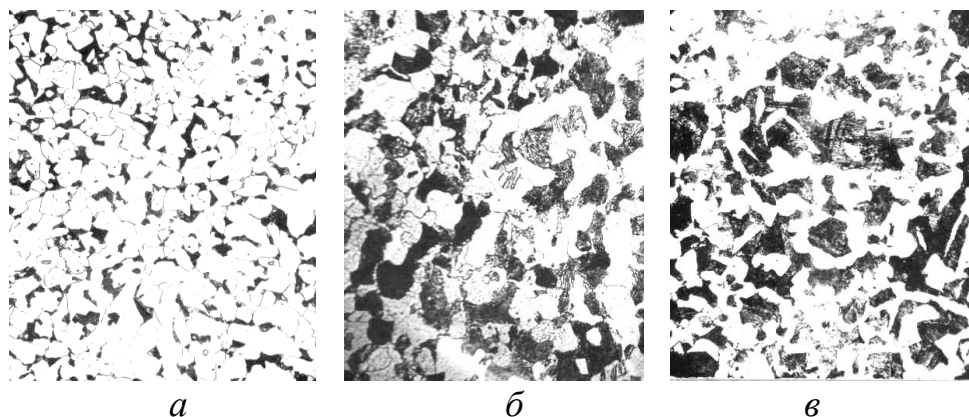


Рисунок 3.2 - Мікроструктури вуглецевої доевтектоїдної сталі з різним вмістом вуглецю: *a* – 0,2 %; *б* – 0,3 %; *в* – 0,4%

У пластинчатому перліті цементит присутній у вигляді тонких пластин, розподілених шарами в масі фериту, і виконує роль твердого каркасу, що сприяє підвищенню міцності і твердості сталі. У зернистому перліті цементит знаходиться у вигляді дрібних зерен, рівномірно розподілених у масі фериту. Зерниста форма цементиту в меншій мірі сприяє зміцненню, і тому сталь з такою структурою має меншу твердість і краще обробляється різанням. З урахуванням цього сталь після прокатки піддається відпалу для перетворення пластинчатого перліту в зернистий.

Мікроструктури евтектоїдної сталі з пластинчатим перлітом показані на рис. 3.3.

Пластини твердого цементиту шарами залягають у масі пластинчатого фериту – це сприяє підвищенню міцності і твердості перлітної структури.

Заевтектоїдна сталь (рис. 3.4) складається з перліту і цементиту, має високу твердість і міцність, але в той же час і підвищену крихкість. З підвищенням вмісту вуглецю в заевтектоїдної сталі збільшується частка об'єму, яку займає цементит. Сталі, які застосовують в практиці, містять не більш 1,35 % вуглецю, тому площа, яку займає цементит, по мікроструктурі не може бути більш 10%, що легко перевірити, користуючись правилом відрізків.

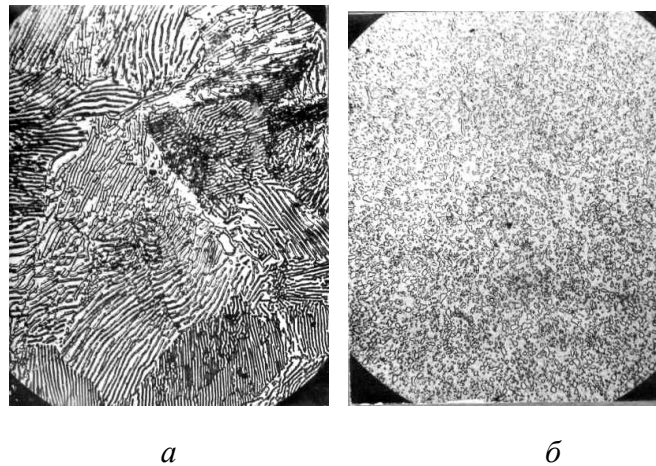


Рисунок 3.3 - Евтектоїдна сталь 0,8% С: а – пластинчатий перліт; б – зернистий перліт

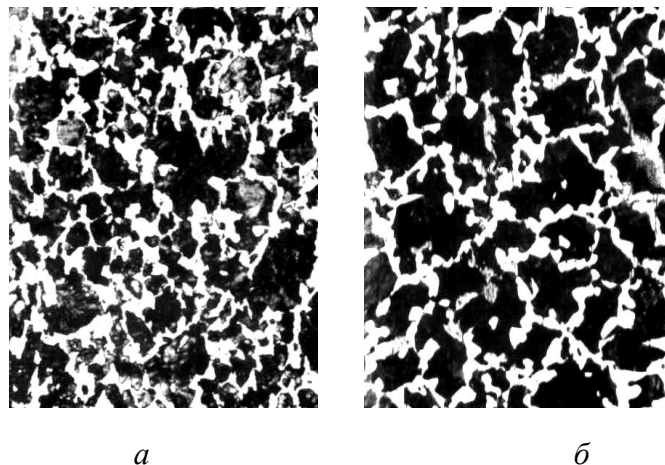


Рисунок 3.4 - Заевтектоїдна сталь: а – 1,1% С; б – 1,3% С

Визначення марки сталі по мікроструктурі

Метод мікроструктурного аналізу при деяких навичках дозволяє визначити вміст вуглецю в сталі з точністю до 0,1%, що дає можливість установити марку досліджуваної сталі. Таке визначення засноване на наступному.

По мікрошліфу візуально (на око) визначають у процентному відношенні площі, які займають окремі структурні складові: у доєвтектоїдній сталі – ферит і перліт, у заєвтектоїдній – перліт і цементит. Наприклад, припустимо, що по візуальній оцінці в досліджуваному мікрошліфі доєвтектоїдній сталі площа, яку займає перліт, складає 40 %, а площа, яку займає ферит – 60 %. З діаграми стану «залізо – вуглець» видно, що при вмісті в сталі 0,8 % вуглецю структура складається тільки з перліту і площа, яку займає перліт на мікрошліфі, складає 100 %.

Позначимо X – процентний вміст вуглецю, що приходить на перлітну частину структури, а Y – на феритну. Тоді можна скласти наступні пропорції;

1. Якщо в 100 % перліту Π – утримується 0,8 % C (див. діаграму).

То в 40 % площі, яку займає перліт утримується X % C .

2. 100 % Φ – 0,006 % C

60 % Φ – X % C

Звідси визначаємо невідомі: $X = (0,8 \times 40) / 100 = 0,32$ %;

$Y = (0,006 \times 60) / 100 = 0,0036$ %

Загальний вміст вуглецю дорівнює сумарному його вмісту у фериті і перліті, %: $C_{\text{заг}} = X + Y = 0,32 + 0,0036 = 0,3236 \approx 0,32$ %

Вміст вуглецю у фериті настільки малий, що з урахуванням можливої пошибки при оцінці розміру площі по мікрошліфу цією величиною можна зневажити. Тому вміст вуглецю в доєвтектоїдній сталі можна визначити тільки з урахуванням площі, яку займає перліт:

$$\% C = (0,8 \% \times \Pi) / 100$$

У заєвтектоїдній сталі вміст вуглецю по мікроструктурі визначається аналогічно. Спочатку по мікроструктурі визначаються площі, яку займають перліт і цементит. Вміст вуглецю в перлітній складовій розраховується по приведеній раніше формулі, а в цементитній – з урахуванням того що, якщо вся площа мікрошліфа буде зайнята цементитом, то цьому буде відповідати вміст вуглецю 6,67 %, на підставі чого складаємо пропорцію:

$$100 \% \text{Ц} - 6,67 \% C$$

$$P \% \text{Ц} - Z \% C$$

де $P \% \text{Ц}$ – площа мікрошліфа, яку займає цементит; $Z \%$ – вміст вуглецю, що приходить на цементитну складову мікроструктури,

$$Z = (6,67 P \%) / 100$$

Загальний процентний вміст вуглецю в досліджуваній сталі дорівнює його сумарному вмісту в перлітній і цементитній складових мікроструктури:

$$\%C_{\text{заг}} = X \% + Z \%$$

У принципі без спеціального приладу провести визначення площі, яку займає вторинний цементит, досить важко і, отже, можливі похибки.

Визначення вмісту вуглецю по мікроструктурі в вуглецевій сталі, що знаходиться в нерівноважному стані (зокрема, після загартування і відпуску), неможливо, тому що її структура не характеризується діаграмою залізо – вуглець.

Правило не приміняється також для легованої сталі, оскільки її фазовий склад і структура не визначаються подвійною діаграмою «залізо-вуглець».

Знаючи вміст вуглецю, легко визначити марку вуглецевої сталі по таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вміст вуглецю в якісних доєвтектоїдних сталях

Марка сталі	Вміст вуглецю, %	Марка сталі	Вміст вуглецю, %
05	Не більш 0,06	40	0,37 - 0,45
08	0,05 - 0,12	50	0,47- 0,55
10	0,07 - 0,14	60	0,53 - 0,65
15	0,12 – 0,19	70	0,67-0,75
20	0,17 - 0,24	80	0,77 - 0,85
30	0,27 - 0,35	85	0,62 - 0,90

Порядок виконання роботи

Студент одержує зразки мікрошліфів з різними мікроструктурами. Необхідно дослідити зразки під мікроскопом і визначити складові мікроструктури, тип сталі (евтектоїдна, доєвтектоїдна або заєвтектоїдна). Описати і замалювати мікроструктури. Вказати тип сталі, а виносними лініями – елементи мікроструктури, на підставі яких, установлений тип сталі.

Користуючись таблицями 3.1 і 3.2 визначити марку доєвтектоїдної і заєвтектоїдної сталі. На мікрошліфах показати фази (мікроструктури).

Зміст звіту

Описати склад і властивості фаз, що входять до складу залізобуглецевих сплавів, а також властивості сталей у залежності від їх мікроструктури в рівноважному стані. Пояснити залежність властивостей від

вмісту вуглецю і характеру фаз на прикладі пластинчатого і зернистого перліту.

Привести розрахунки по визначенню вмісту вуглецю на основі аналізу мікроструктури.

Таблиця 3.2 – Вміст вуглецю в інструментальній вуглецевої сталі

Марка сплаву	Склад вуглецю, %
У7	0,65 - 0,74
У8	0,75 - 0,84
У8Г	0,80 - 0,90
У9	0,85 - 0,94
У10	0,94 - 1,04
У11	1,05 - 1,14
У12	1,16 - 1,24
У13	1,25 - 1,35

Контрольні питання

1. Які фази зустрічаються в залізобуглецевих сплавах?
2. Які сплави відносяться до сталей?
3. Яку структуру і властивості мають доевтектоїдні і заевтектоїдні сталі?
4. Чому з підвищенням вмісту вуглецю підвищується твердість і міцність конструкційної сталі?
5. В чому відмінність у будові і властивостях пластинчатого і зернистого перлітів?
6. На чому заснований метод визначення марки сталі по мікроструктурі ?
7. Який вміст вуглецю у фериті?
8. Охарактеризуйте властивості цементиту.

ВИВЧЕННЯ СТРУКТУР І ВЛАСТИВОСТЕЙ ЧАВУНІВ

Мета роботи: вивчити мікроструктури сірого, білого, високоміцного та ковкого чавунів

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Сплави заліза, що містять $> 2,14\% \text{C}$ називають *чавунами*. Відповідно до діаграми стану «залізо – вуглець» вони поділяються на доевтектичні (вміст вуглецю $> 2,14\% < 4,3\%$), евтектичні $= 4,3\%$, заевтектичні $> 4,3$ до $6,67\%$.

Доевтектичні сплави після затвердіння мають структуру аустеніт + ледебурит (лінія ECF). При зниженні температури внаслідок зменшення розчинності вуглецю в аустеніті (лінія SE) відбувається частковий розпад, як первинних кристалів, що виділилися з рідини, так і аустеніту, що входить до ледебуриту. Розпад полягає у виділенні кристалів вторинного цементиту і зменшенні в зв'язку з цим вмісту вуглецю в аустеніті відповідно до лінії SE. При температурі 727°C аустеніт, збіднений вуглецем до $0,8\%$, перетворюється в перліт. Таким чином, доевтектичні чавуни після охолодження мають структуру: перліт, ледебурит (перліт + цементит) і вторинний цементит; чим більше в чавуні вуглецю, тим менше перліту і більше ледебуриту.

Евтектичний чавун містить $4,3\% \text{C}$, при температурах нижче 727°C складається тільки з ледебуриту (перліт + цементит).

Ледебурит має стільникову або пластинчасту будову. При повільному охолодженні утворюється стільниковий ледебурит, що представляє собою пластини цементиту. Пластинчатий ледебурит складається з тонких пластин цементиту, розділених аустенітом, і утворюється при швидкому охолодженні. Стільникова і пластинчата будова нерідко поєднується в межах однієї евтектичної колонії.

Заевтектичні чавуни ($4,3 - 6,67\% \text{C}$) починають твердіння з пониженням температури нижче лінії ліквідус ВР, в рідкій фазі зароджуються і ростуть кристали цементиту. Концентрація вуглецю в рідкому сплаві з пониженням температури зменшується по лінії ліквідус. При 1147°C рідина досягає евтектичної концентрації $4,3\% \text{C}$ (точка С) і твердіє з утворенням ледебуриту. Після затвердіння евтектичні чавуни складаються з первинного цементиту і ледебуриту. При зниженні температури евтектичний аустеніт збіднюється вуглецем унаслідок виділення надлишкового цементиту і при температурі 727°C розпадається з утворенням перліту. Після охолодження заевтектичні чавуни складаються з первинного цементиту, що має форму пластин, і ледебуриту (перліт + цементит). З збільшенням вмісту вуглецю кількість цементиту зростає.

Хімічний склад і, зокрема, вміст вуглецю не характеризують властивостей чавуна: його структура й основні властивості залежать не тільки від хімічного складу, але і від процесу виплавки, умов охолодження виливки і режиму термічної обробки. Властивості чавуна визначаються його структурою.

Вуглець у чавуні може знаходитися у виді цементиту або графіту або одночасно у вигляді цементиту і графіту. Цементит додає зламу специфічний світлий блиск, тому чавун, у якому вуглець знаходиться у вигляді цементиту, називається *білим*. Графіт додає зламу серій колір, тому його називають *сірим чавуном*. У залежності від форми графіту і умов його утворення розрізняють наступні групи чавунів: сірий, високоміцний з кулястим графітом і ковкий.

Утворення стабільної фази графіту в чавуні може відбуватися в результаті безпосереднього виділення його з рідкого (твердого) розчину або внаслідок розпаду попередньоутвореного цементиту.

Білі чавуни. У залежності від вмісту вуглецю білі чавуни бувають доевтектичні (менше 4,3 % C), евтектичні (4,3 % C) і заевтектичні (більше 4,3 %). Мікроструктура доевтектичного чавуна: перліт, ледебурит і вторинний цементит (рис. 4.1).

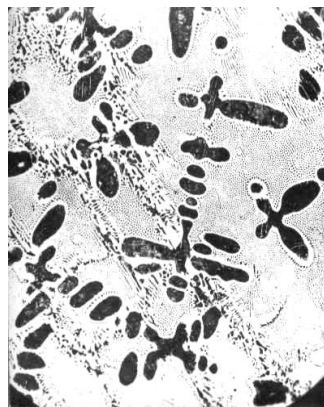


Рисунок 4.1 - Доевтектичний білий чавун

Цементит розташовується у вигляді облямівки навколо перлітних ділянок. Це обумовлено тим, що вторинний цементит виділяється при охолодженні з аустеніту і його кристалізація відбувається в першу чергу по межах аустенітних зерен, що при охолодженні сплаву нижче температури 727 °C перетворюється в перліт, внаслідок чого перліт виявляється оточеним облямівкою цементиту.

Зі збільшенням вмісту вуглецю частка об'єму, яку займає перліт, зменшується за рахунок збільшення об'єму ледебуриту. Оскільки ледебурит – тендітна структура, зі збільшенням вмісту вуглецю збільшується крихкість чавуну.

Структура білого евтектичного чавуна складається тільки з ледебуриту і має характерний вигляд: темні цятки на світлому тлі (трохи нагадує

візерунок леопардової шкіри) або довгі вузькі темні плями на світлому тлі (подібно бджолиним стільникам у розрізі) (рис. 4.2).

Структура білого заевтектичного чавуна складається з ледебуриту і цементиту. Зі збільшенням вмісту вуглецю зростає частка об'єму, яку займає цементит. Це призводить до підвищення крихкості. При вмісті вуглецю, який незначно перевищує евтектичний (4,3%), цементит у вигляді світлих голок розташовується в масі ледебуриту (рис. 4.3).

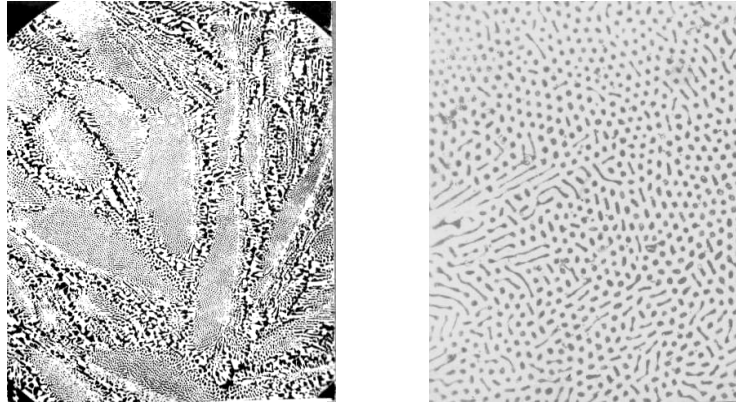


Рисунок 4.2 - Евтектичний білий чавун. Ледебурит.

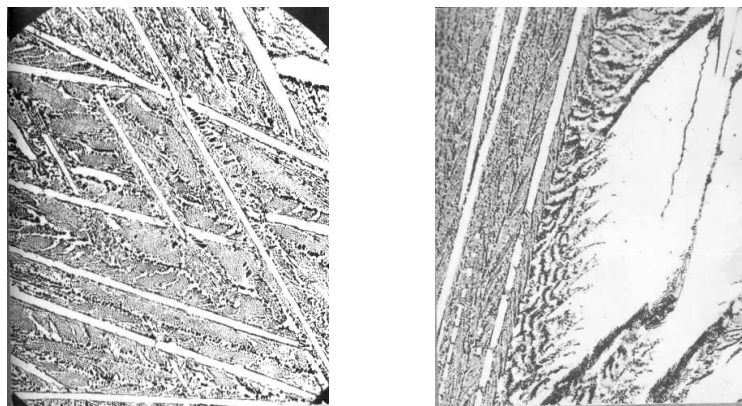


Рисунок 4.3 - Мікроструктура заевтектичного білого чавуна (цементит у вигляді голок)

Сірі чавуни. Мікроструктура сірого чавуна складається з металевої основи і графіту. Відмінною ознакою сірого чавуна є пластинчата форма графіту. Кристал графіту подібний бутону квітки з дуже тонкими вигнутими пелюстками (рис. 4.4). Такі пелюстки – пластини, потрапляючи в площину розрізу мікрошліфа, представлені в поперечному перерізі у вигляді гілочок дерева. Металева основа сірого чавуна може бути феритною, феритоперлітною. Ця основа за структурою і властивостями така ж, як і в сталях з низьким, середнім і високим (евтектоїдним) вмістом вуглецю (рис. 4.5).

Міцність графіту настільки мала, що місця його залягання можна дорівняти до порожнеч. Тому, порівнюючи по міцності сталь і сірий чавун з відповідною металевою основою, можна представити сірий чавун як сталь з мікротріщинами (надрізами), рівномірно розташованими по всьому об'єму

металу. Цим пояснюється більш висока крихкість чавуна в порівнянні зі сталлю.

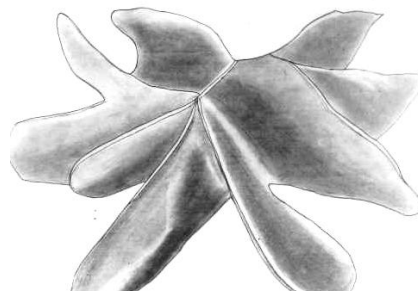
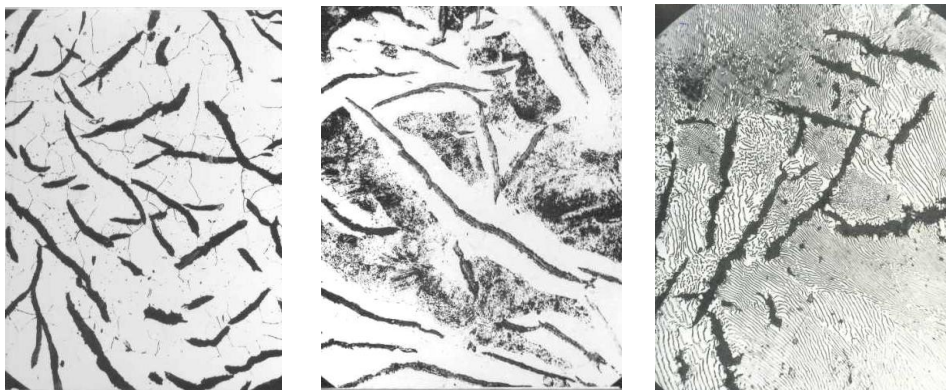


Рисунок 4.4 - Кристал графіту

Графіт сприяє також зниженню межі міцності сірого чавуна, особливо при дії напруг, що розтягують. Межа міцності чавуна на вигин приблизно в два рази вище, ніж на розрив.

Графіт додає чавуну ряд позитивних властивостей, які не досяжні в сталі: підвищену зносостійкість, малу чутливість до концентрації напруг, гарну оброблюваність різанням, високі ливарні властивості. Міцні властивості чавуна залежать від структури його металевої основи, розмірів, форми й кількості графітових включень. Найбільшу міцність має чавун з перлітною основою, найменшу - з феритною, середню - з ферито-перлітною. Зменшення кількості графіту, здрібнювання його часток, а також додавання їм округлої форми сприяє підвищенню міцних властивостей.

Одержання тієї або іншої механічної основи досягається регулюванням хімічного складу чавуна. Кремній сприяє графітизації, марганець перешкоджає їй. Тому для одержання феритного чавуна необхідно підвищений вміст кремнію і знижений вміст марганцю. У цьому випадку графітизація йде до кінця, тобто весь наявний цементит переходить у графіт. Для одержання перлітного чавуна вміст кремнію знижується, а марганцю – підвищується. У цьому випадку графітизація йде не до кінця, тобто частково зберігається цементит, що входить до складу перліту.



a

б

в

Рисунок 4.5 - Сірий чавун: *a* – феритний; *б* – ферито-перлітний; *в* – перлітний

Ковкі чавуни. Ковкі чавуни не куються. Свою назву вони одержали від слова "ковкість", що в старовину означало пластичність. У ковких чавунах показник пластичності, відносне подовження, може досягати 12%, у той час як у сірих чавунах такий показник практично близький до нуля.

Відмітною ознакою ковкого чавуна є пластинчата форма графіту. При такій формі в меншій мері виявляється негативний вплив графіту на міцні властивості чавуну, зменшується крихкість. У той же час зберігається позитивний вплив графіту на технологічні й експлуатаційні властивості чавуну.

Ковкий чавун одержують тривалим нагріванням при високих температурах з білого чавуна. У результаті відпалу утворюється графіт пластинчастої форми. Такий графіт у порівнянні з пластинчатим менше знижує міцність і пластичність металевої основи структури чавуну.

Ковкі чавуни маркують буквами КЧ і цифрами. Перші дві цифри вказують тимчасовий опір при розтягуванні, кг/мм^2 , друге – відносне подовження, %.

З відливок ковкого чавуну виготовляють деталі, що працюють при ударних і вібраційних навантаженнях.

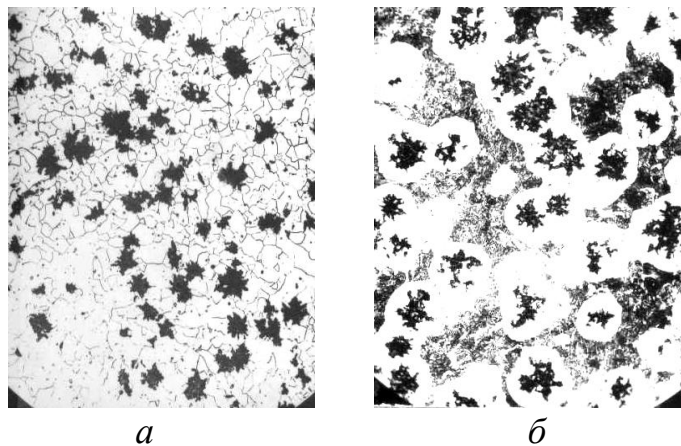


Рисунок 4.6 - Мікроструктура ковких чавунів: *a* – феритного; *б* – ферито-перлітного

Високоміцні чавуни. Відмінна риса високоміцного чавуну – куляста форма графіту, що виходить завдяки введенню в розплавлений чавун невеликої кількості магнію (десяті частки відсотка). При кулястій формі графіту негативний його вплив на міцність виявляється в найменшій мірі. За структурою металевої основи розрізняють три види високоміцного чавуна: феритний, ферито-перлітний і перлітний. Найбільшою міцністю володіє перлітний чавун, найбільшою пластичністю – феритний.

Кулястий графіт, що має мінімальну поверхню при даному об'ємі, значно менше зменшує металеву основу чавуну, чим пластинчатий графіт. Чавуни з кулястим графітом мають більш високі механічні властивості, що не уступають литій вуглецевій сталі, зберігаючи при цьому гарні ливарні властивості та оброблюваність різанням.

Відливки з високоміцного чавуну широко використовують у різних галузях народного господарства: в автобудуванні і дизелебудуванні для колінчастих валів, кришок циліндрів і інших деталей; у важкому машинобудуванні – для деталей прокатних станів; у кузнечно-пресовому устаткуванні – для молотів, траверс пресів, прокатних валків; у хімічній і нафтовій промисловості – для корпусів насосів, вентилів і т.д.

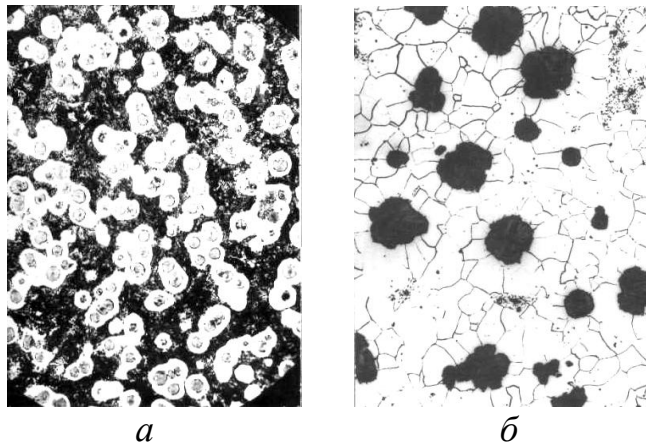


Рисунок 4.7 - Мікроструктури високоміцного чавуну: *а* – ферито-перлітного; *б* – феритного

Межа міцності на розрив у перлітному чавуні досягає 1000 МПа, що перевищує межу міцності конструкційної сталі 45. Відносне подовження в цьому випадку не перевищує 2%, а в сталі воно перевищує 15 %.

Порядок виконання роботи

Виготовити мікрошліфи. Дослідити під мікроскопом і описати структури білих, сірих, високоміцних і ковких чавунів. Схематично замальовати кожну структуру.

Для ферито-перлітного сірого і високоміцного чавунів визначити відсоток зв'язаного і вільного вуглецю. Відсоток зв'язаного вуглецю в сірих чавунах визначається так, як і для сталі.

Побудувати криві охолодження для сплавів заданих викладачем і описати процеси, що відбуваються при охолодженні даних сплавів (в критичних точках і в інтервалі температур між критичними точками).

Матеріали та обладнання

Металографічний мікроскоп МІМ-7, зразки чавунів, шліфувальний верстат, струбцини, набір реактивів для труїння, спирт, вата, фільтрувальний папір, дистильована вода, ацетон.

Контрольні питання

1. У чому відмінність між мікроструктурами доевтектичного, евтектичного і заевтектичних чавунів?
2. Охарактеризуйте властивості білих чавунів.
3. Яку форму має графіт в сірому чавуні?
4. Якою буває металева основа в сірих чавунах?
5. У чому проявляється позитивний і негативний вплив графіту в сірих чавунах?
6. Як впливає кремній і марганець на структуру металевої основи сірих чавунів?
7. Який вплив має металева основа, розміри і форма графітових включень на властивості сірих чавунів?
8. Яка відмітна ознака структури ковких чавунів?
9. У чому проявляються і чим пояснюється відмінності у властивостях сірих і ковких чавунів?
10. Яка відміна ознака структури ковких чавунів?
11. Охарактеризуйте порівняльні характеристики високоміцних чавунів і сталей.

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА СТАЛІ

Мета роботи: ознайомитись з методикою термічної обробки сталі; вивчити вплив температури нагріву під гартування, швидкість охолодження і температури відпуску на твердість сталі і структуру.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

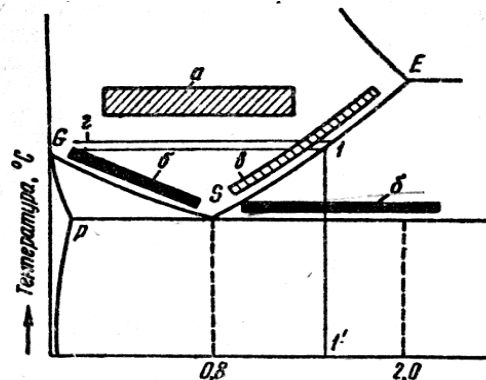
Термічна обробка металів і сплавів - сукупність технологічних операцій, пов'язаних з нагрівом, витримкою й охолодженням і, у деяких випадках, зі зміною хімічного складу поверхневого шару.

Термічна обробка може бути *проміжною і остаточною*. Головною задачею проміжної термічної обробки є зниження твердості сталі для її кращої оброблюваності різальним інструментом або обробкою металів тиском. Остаточна термічна обробка деталей має на меті додати сталі такі властивості, які вимагають в умовах експлуатації деталі. За допомогою термічної обробки можна змінити міцність, жароміцність, пластичність, в'язкість, технологічні властивості (ковкість, зварюванність, оброблюваність різанням).

По діаграмі стану сплавів можна визначити, які сплави можуть піддаватися термічній обробці, у яких сплавах можна очікувати максимального ефекту від термічної обробки, температурні режими термічної обробки.

Першим етапом термічної обробки є нагрівання.

Вибір температури нагріву сталі тісно пов'язаний з діаграмою стану "залізо - вуглець" (рис. 5.1). Нагрівання проводять в печах з газовою атмосферою (електричних, газових), у рідких середовищах (розплавлених металах і солях), а також струмами високої частоти.



Вміст вуглецю

Рисунок 5.1 – Кут діаграми стану "залізо - вуглець". Температура нагріву сталі при дифузійному відпалюванні (а); повному та неповному відпалюванні та загартуванні і нормалізації - оптимальні режими нагріву (б); нормалізація для усунення цементитної сітки (в), цементації (г).

Чим складніше форма виробу і більше його розміри, чим більше в сталі вміст вуглецю і легуючих елементів, тим повільніше необхідно нагрівати сталь. Якщо виріб помістити у середовище, нагріте до високих температур, то в початковий момент розподіл температури по перетину деталі буде нерівномірним (на поверхні виробу температура вище, ніж у серцевині). Це викликає неоднакове розширення різних шарів виробу, що може привести до деформації виробу і до появи тріщин.

Другим етапом термічної обробки є витримка, яка забезпечує повний прогрів виробу по перетину для завершення фазових перетворень, а також повну гомогенізацію аустеніту. Час витримки при даній температурі залежить від форми і розмірів виробу і від складу сталі. Чим вище температура нагріву, тим менше потрібно часу витримки.

Третім етапом термічної обробки є охолодження. Швидкість і спосіб охолодження головним чином визначають властивості сталі після термічної обробки.

Основними видами термічної обробки, які по-різному змінюють структуру і властивості сталі, є: *відпал, нормалізація, загартування і відпуск*. У залежності від вимог, які запропоновано до напівфабрикатів (зливкам, куванням, прокату і т.д.) і до готових виробів призначаються ті або інші види термічної обробки.

Відпал - це вид термічної обробки, у результаті якого знижується твердість, але підвищується пластичність і в'язкість сталі. Основне призначення відпалу - одержання рівномірної структури. Відпал використовується для поліпшення оброблюваності різанням, усунення внутрішніх напруг, здрібнювання структури у виливках, неоднорідності структури сталі після гарячої обробки тиском.

Відпал сталі полягає в нагріві сталі до температур вище фазових перетворень, витримці при даній температурі і наступному повільному охолодженні (звичайно разом з піччю).

Швидкість охолодження при відпалюванні повинна забезпечити розпад аустеніту на ферито-цементитну суміш в області температур, близьких до A_{r1} (перліт):

- а) для вуглецевих сталей приблизно 150 - 200 град/год.;
- б) для маловуглецевих сталей 30 - 50 град/год.

Після відпалу одержують наступні структури: для доевтектоїдних сталей - *перліт і ферит*, для евтектоїдної сталі - *перліт*, для заевтектоїдних сталей - *перліт і вторинний цементит*. Будова ферито-цементитної суміші при цьому виходить пластинчата.

Дифузійний (гомогенізуючий) відпал застосовують для усунення ліквації (вирівнювання хімічного складу). Режим гомогенізуючого відпалювання – нагрів до температури 1050 - 1200°C, час витримки 8 - 10 годин.

Рекристалізаційний відпал застосовують у заводській практиці для усунення наклепу холоднокатаних листів з вуглецевої сталі з вмістом 0,1 - 0,

2 % вуглецю. Нагрів здійснюється до температури 680 - 700 °С. Час витримки 25 - 30 хв. (для тонких листів і дроту).

Відпал для зняття напруг проводять для деталей з вуглецевої сталі при нагріванні до 400 - 600°C і витримці 2,5 хв. на 1 мм товщини перетину.

Дані процеси обробки відносяться до *відпалу I роду*. Характерна риса цього виду відпалу в тому, що зазначені процеси відбуваються незалежно від того, чи протікають у сплавах при даній обробці фазові перетворення ($\alpha \rightarrow \gamma$) або ні. Тому відпал I роду можна проводити при температурах вище нижче температури фазових перетворень (критичних).

Відпал II роду засновано на фазовій перекристалізації. Відпал II роду полягає в нагріванні сталі до температур вище точок A_{C1} і A_{C3} , витримці і, як правило, наступному повільному охолодженні. У процесі нагріву та охолодження в цьому випадку протікають фазові перетворення ($\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення), що визначають структуру і властивості сталі.

Після такого відпалу одержують більш однорідну дрібнозернисту структуру, твердість знижується, пластичність підвищується. Тому відпал II роду застосовують у якості попередньої термічної обробки і перед обробкою сталевих деталей на металорізальних верстатах.

Нормалізація - це термічна обробка сталі, при якій вироби нагрівають до аустенітного стану (на 30 - 50 град. вище A_{C3} або A_{CT}) і охолоджують на повітрі. Нормалізацію частіше застосовують як проміжну операцію, що поліпшує структуру. Нормалізація усуває грубозернисту структуру, яку одержують при литті, прокатуванні, куванні або штампуванні. Для низьковуглецевих сталей її застосовують і як кінцеву, наприклад, при виготовленні сортового прокату (рейки, швелери). Після нормалізації поліпшується оброблюваність різанням.

При нормалізації середніх і високовуглецевих сталей твердість є вище, ніж при відпалюванні.

Загартування - зміцнюючий вид термічної обробки. У результаті загартування підвищується твердість, міцність і зносостійкість сталі, але знижується її пластичність і в'язкість. Іноді загартування застосовують для придання сталі спеціальних фізико - хімічних властивостей, стійкості проти корозії, жароміцності й ін. Загартування виконують у печах, на установках ТВЧ, виконують загартування холодом.

Загартування полягає в розігріві сталі до температури вище критичної і наступному охолодженні зі швидкістю, що перевищує критичну (рис. 5.2).

Основні параметри при загартуванні - температура нагріву і швидкість охолодження. Температуру нагріву для сталей визначають по діаграмах стану, швидкість охолодження - по діаграмах ізотермічного розпаду аустеніту.

Вибір температури загартування виконують в залежності від складу вуглецю в сталі. Доевтектоїдні сталі, до яких відноситься сталь 45, нагрівають до температури вище критичної точки A_{C3} на 30 - 50 °С. Така температура забезпечує одержання дрібнозернистого аустеніту при

нагріванні, що, у свою чергу, дозволить при охолодженні зі швидкістю більше критичної ($v > v_{кр}$) одержати дрібнозернистий мартенсит.

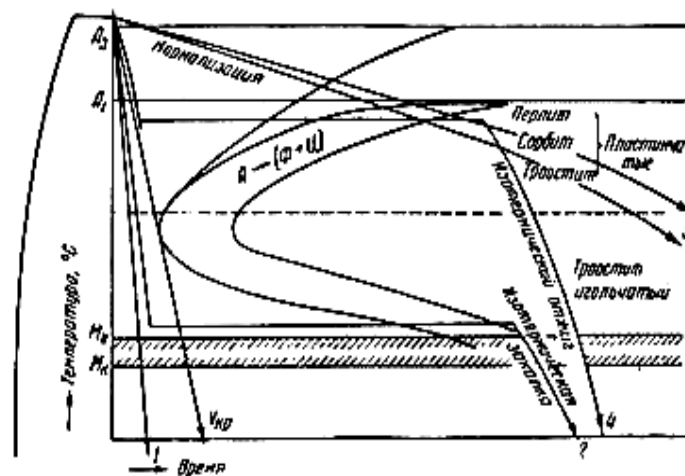


Рисунок 5.2 - Схема проведення термічної обробки: 1) безперервне охолодження при загартуванні; 2) ізотермічне загартування; 3) безперервне охолодження при відпалюванні; 4) ізотермічний відпал; 5) нормалізація

При нагріванні доєвтектоїдних сталей між критичними температурами A_{C1} і A_{C3} відбувається часткова перекристалізація сталі. Перліт цілком переходить в аустеніт, частково зберігається ферит (кількість ферита буде залежати від температури нагріву). Тому структура сталі після загартування з температур, між точками A_{C1} і A_{C3} , буде складатися з мартенситу і фериту (рис. 5.3, а). Наявність фериту веде до зниження твердості загартованої сталі і, одночасно, не збільшує ударну в'язкість. Перегрів сталі, тобто нагрівання до температур, які значно перевищують критичну точку A_{C3} (150 - 200°C), сприяє росту аустенітного зерна. Це збільшує схильність сталі до деформації та утворенню тріщин у процесі загартування.



Рисунок 5.3 - Структура доєвтектоїдної сталі, що містить 0,4 % С після загартування з різних температур: температура загартування 750 °С - мартенсит і ферит (а); температура загартування 850°C - мартенсит (б); температура загартування 1000 °С - мартенсит крупнозернистий (в)

Структура такої сталі буде складатися з крупногочастого мартенситу, який володіє зниженою ударною в'язкістю (рис. 5.3, в).

Якщо такі сталі нагрівати до температури між критичними точками A_c і A_{c3} та охолоджувати, то в структурі загартованої сталі, крім мартенсита, буде присутній ферит, що істотно погіршує властивості. Таке загартування називається *неповним*.

Час нагріву залежить від розмірів деталі і теплопровідності сталі, його звичайно визначають експериментально. Тривалість витримки при обраній температурі встановлюється з моменту досягнення в ній робочої температури і визначається з розрахунку 2 - 3 хв. на 1 мм розміру в поперечному перерізі зразка, що гартується.

Як середовище для охолодження може використовуватися: вода, олія, повітря. Можливе охолодження разом з піччю. При охолодженні з піччю - охолодження практикують до температури 600°C , а потім - охолоджують на повітрі.

Ідеальне середовище для охолодження повинно забезпечити високу швидкість охолодження в районі найменшої стійкості аустеніту ($650 - 500^\circ\text{C}$), щоб уникнути розпаду його на ферито-цементитну суміш і уповільненого охолодження в районі температур мартенситного перетворення, щоб уникнути утворення великих внутрішніх напруг, що можуть привести до деформації виробів, що гартуються, і навіть появи тріщин.

Як охолоджуюче середовище при загартуванні вуглецевих сталей, що містять вуглецю більше $0,3\%$, застосовується вода. Вуглецеві сталі, що містять вуглецю менше $0,3\%$, практично не гартуються, тому що при охолодженні в будь-якому реальному середовищі аустеніт частково буде перетворюватися у ферито-цементитну суміш і тільки в малих перетинах у сталей, що містять вуглецю менше $0,3\%$, можна одержувати загартовану структуру (мартенсит).

Позитивними властивостями води є: швидке охолодження ($V_{\text{ох}} = 600$ град/сек. при температурі води $+18^\circ\text{C}$) у районі найменшої стійкості аустеніту ($650 - 500^\circ\text{C}$).

Основними недоліками води є: велика швидкість охолодження ($V_{\text{ох}} = 270$ град/сек.) у районі мартенситного перетворення ($300 - 200^\circ\text{C}$) і різке зниження здатності, що гартує, (швидкість охолодження при $650 - 500^\circ\text{C}$) з підвищенням температури води.

У районі найменшої стійкості аустеніту здібність води, що гартує, може бути посилена шляхом розчинення в ній солей, кислот, лугів, а також уповільнена шляхом підігріву або додаванням мила. Однак в області мартенситних перетворень усі способи уповільнення охолодження виявляються недейсними.

Олія, як охолоджуюче середовище, застосовується при гартуванні легованих сталей. Олія в районі найменшої стійкості аустеніту ($650 - 500^\circ\text{C}$) охолоджує приблизно в 5 разів повільніше, ніж вода, а в районі мартенситних перетворень ($300 - 200^\circ\text{C}$) - у 10 - 15 разів повільніше, ніж вода. Це основна

його перевага. Здатність олії, що гартує, слабо змінюється з підвищенням його температури.

Основними недоліками олії є:

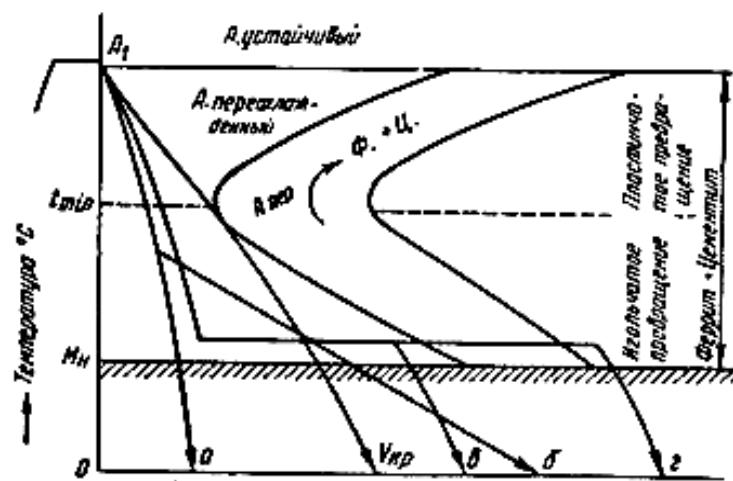
1) недостатня швидкість охолодження в районі температур найменшої стійкості аустеніту (тому при загартуванні вуглецевих сталей в олії воно не забезпечує швидкості охолодження більше $V_{кр}$);

2) вогнебезпечність. При нагріванні до 250 - 300 °С олія може зайнятися;

3) поступове загустіння олії, що веде до зниження здатності, що гартує;

4) пригоряння олії на деталях.

Таким чином, усі реальні охолоджуючі середовища, які застосовують, не можуть цілком задовольнити вимогам, пропонованим до ідеального охолоджувача. Тому поряд зі звичайним гартуванням (гартуванням в одному охолоджувачі) застосовують і інші методи гартування сталі, призначення яких є зменшення внутрішніх напруг, одержуваних при гартуванні сталі (рис. 5.4).



Час розпаду аустеніту

Рисунок 5.4 - Основні методи гартування сталі: в одному охолоджувачі (а); у двох охолоджувачах (б); східчаста (в); ізотермічна (г)

Для зменшення кількості залишкового аустеніту в загартованій сталі застосовують обробку холодом, що полягає в охолодженні загартованої сталі до температур нижче нуля.

Обробку холодом використовують головним чином для вимірювальних інструментів, для пружин і деталей з цементуємих високолегованих сталей, що зберігають багато аустеніту після гартування.

Крім наскрізного гартування для багатьох деталей (пальці, шейки коленчастих валів, кулачки і т.д.) застосовується поверхневе загартування сталі струмами високої частоти. Поверхневе гартування застосовується в

тому випадку, якщо деталі необхідна висока твердість, зносостійкість поверхні при збереженні в'язкої і досить міцної серцевини.

Відпуск - нагрівання загартованої сталі до температури нижче критичної точки A_{C1} , витримка при цій температурі з охолодженням (звичайно на повітрі). Відпуск є заключною операцією термічної обробки. Метою відпуску є зміна будови і властивостей загартованої сталі: підвищення в'язкості й пластичності, зменшення твердості, повне або часткове усунення напруг при загартуванні.

Розрізняють: низькотемпературний, середньотемпературний, високотемпературний відпуск.

Низькотемпературний відпуск - нагрівання загартованої сталі до температури 150 - 200 °С. Структура - *мартенсит відпуску*. Низькотемпературний відпуск призначається для часткового зняття внутрішніх напружень, підвищення в'язкості і пластичності без помітного зниження твердості. Цьому виду відпуску піддають міряльний і ріжучий інструмент, деталі, які пройшли цементацію, поверхневе закалювання і т.д.

Середньотемпературний відпуск - нагрівання загартованої сталі до температури 300 - 400 °С. Структура - *троостит*. При цих температурах відпуску спостерігається зниження ударної в'язкості, твердості і деяке підвищення пружності. Цьому виду відпуску піддаються тільки ресори і пружини.

Високотемпературний відпуск - нагрівання загартованої сталі до температури 500 - 600 °С. Структура - *сорбіт*, що являє собою ферито-цементитну суміш середнього ступеня дисперсності, має зернисту будову. Такий відпуск забезпечує майже повне зняття внутрішніх напруг і дає найкраще поєднання міцності і пластичності. Високотемпературному відпуску піддають значну кількість відповідальних деталей машин.

Гарт з високим відпуском називають *поліпшенням*. Поліпшенню піддають середньовуглецеві (0,3 - 0,5 %С) конструкційні сталі, до яких пред'являються високі вимоги по межі витривалості й ударної в'язкості. Тривалість відпуску повинна бути така, щоб забезпечити одержання стабільної структури. Рекомендується для високотемпературного відпуску час витримки від 30 хв. до 1 год, для середньотемпературного - від 1 до 2 год., для низькотемпературного відпуску - 2 - 3 год. Швидкість охолодження після відпуску не змінює структури. Однак, для того, щоб уникнути одержання термічних напруг, охолодження після відпуску необхідно вести уповільнено (на повітрі).

Сталь 45 відноситься до середньовуглецевих конструкційних сталей, що містять S - 0,04 % і P - 0,035 ÷ 0,04 %. Застосовують після нормалізації, гартування і поліпшення для різних деталей у всіх галузях машинобудування (вали, осі, хвостовики інструмента, шпильки і т.д.).

Таблиця 6.1 - Вплив термічної обробки на механічні властивості сталі з 0,45% С

Термічна обробка	МПа		%		ККУ МД ж/ м ²	Твердість	
	σ_s	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ		НВ	HRC
Відпал	650	450	20	65	0,6	187	
Нормалізація	730	470	21	50	0,8	198	
Закалка та відпуск при 500	970	850	8	55	1,0		30
Закалка та відпуск к при 550	950	800	10	60	1,1		28
Закалка та відпуск при 550	870	700	13	65	1,3		26

Порядок виконання роботи

1. Вивчити термічну обробку сталі 45.
2. Дослідити мікроструктуру вуглецевих сталей після термічної обробки.

Зміст звіту

1. Описати процеси, які відбуваються в сталі при її гартуванні і відпуску. Замалювати мікроструктури сталі 45 після різних видів термообробки.

2. Побудувати графік зміни твердості в залежності від температури в координатах "температура-твердість". Пояснити вплив температури гартування на зміну структури і твердості сталі.

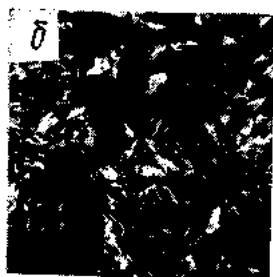
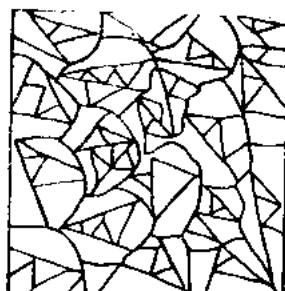
3. Побудувати графік зміни твердості в залежності від швидкості охолодження в координатах "швидкість охолодження-твердість". Швидкість охолодження в інтервалі температур 650 - 500 °С: у воді - 600 град/с, в олії - 100 град/с, на повітрі - 2 град/с. Критична швидкість загартування сталі 45 $V_{кр}$ - 250 град/с. Пояснити вплив швидкості охолодження на зміну структури і твердість сталі.

Контрольні питання

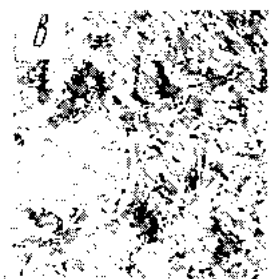
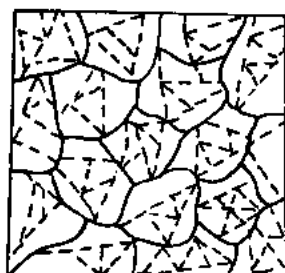
1. Мета термічної обробки?
2. Мета попередньої й остаточної термічної обробки?
3. Основні види термічної обробки?
4. Що таке відпал сталі? Види відпалу? Мета різних видів відпалу?
5. Що таке нормалізація?
6. Що називається гартуванням? Види гарту.
7. Охолоджуючі середовища при гартуванні?
8. Назвіть позитивні і негативні сторони застосування різних охолоджуючих середовищ при гартуванні?



×500



×500



×500

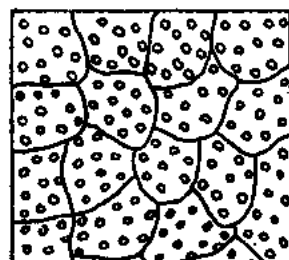
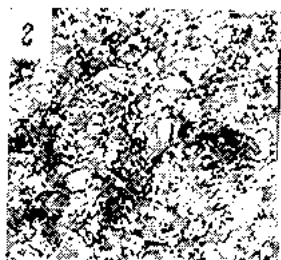
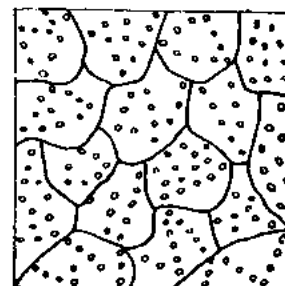


Рисунок 5.5 - Мікроструктура сталі 45 після гартування і відпуску (праворуч - мікроструктура, ліворуч - схема замальовки): гартування з температурою 860 °C і відпуск 200⁰C - мартенсит (а); відпуск 400 °C - троостит відпуску (б); відпуск 500 °C - сорбіт відпуску (в); відпуск 650 °C - перліт відпуску

ТИТАНА І ЙОГО СПЛАВИ

Мета роботи: вивчити мікроструктури титану і його сплавів

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Титан - метал сріблясто-білого кольору, температура топлення 1665 ± 5 °С. Титан має дві алотропічні модифікації: до 882 °С існує: α -титан, що кристалізується в ГПУ (гексагональна плотноупакована) гратка, а при 900 °С – β - титан, що має ОЦК (об'ємно центрована кубічна) гратка при 900° С. Коефіцієнт лінійного розширення титану в інтервалі 20 - 100 °С дорівнює $8,3 \cdot 10^{-6}$, теплопровідність при 50 °С складає 15,4 Вт/{м·К). Технічний титан виготовляють трьох марок: VT1-00 (99,53% Ti), VT1-0 (99,48% Ti) і VT1 - 1 (99,44% Ti).

Титан до 550 °С корозійностійкий у багатьох агресивних середовищах, у тому числі на повітрі, прісній і морській воді, через наявність на його поверхні міцної оксидної плівки. У випадку порушень цієї плівки при ударах і терті (наприклад, обробка різанням) титан активно взаємодіє з киснем (з утворенням Ti_2), що може привести до його самозаймання. Це необхідно враховувати при роботі з технічно чистим титаном.

З вуглецем, азотом, бором, кремнієм титан утворює тугоплавкі тверді з'єднання, які використовують в різних областях промисловості. Наприклад, карбід титану ($t_{пл}=3140^{\circ}C$) застосовується для виготовлення інструментальних і абразивних матеріалів; борида титана, Ti_2B_5 - у ядерній енергетиці; силіциди титана $TiSi_2$ і ін. - у техніці високих температур.

Коштовною властивістю титана є поєнання легкості з міцністю і корозійною стійкістю, що зберігаються в інтервалі температур 250...+ 550 °С. Титан технічний марок використовується для виготовлення хімічних і харчових ємкостей; у відбудовній хірургії; як конструкційний матеріал для деталей, що працюють в умовах глибокого холоду (криогенна техніка); для альпіністського спорядження; при виробництві й обробці художніх виробів і ін. У машинобудуванні застосовуються сплави на основі титана.

Сплави титана

Для одержання сплавів титан легують Al, Mo, V, Mn, Cr, Sn, Fe, Zn, Nb, для поліпшення механічних властивостей, рідше - для підвищення корозійної стійкості. Питома міцність (σ_B/γ) титанових сплавів вище чим легуваних сталей. Легуючі елементи дуже впливають на температури поліморфного перетворення. Такі елементи (Al, O, N) підвищують температуру поліморфного перетворення і розширюють α -область; їх називають α -стабілізаторами. Деякі елементи цієї групи утворюють із титаном хімічні сполуки. Mo, V, Mn, Cr, Fe, знижують температуру поліморфного

перетворення й розширюють область існування β -фази; їх називають β -стабілізаторами. При легуванні титана Mn, Fe, Cr, Si і деякими іншими елементами утворюються хімічні сполуки; у таких сплавах протікає евтектоїдне перетворення $\beta \rightarrow \alpha \text{ Ti}_x\text{M}_y$. Як правило, всі промислові сплави титана містять алюміній. Алюміній підвищує тимчасовий опір, але зменшує пластичність сплавів.

Розрізняють:

1) α -сплави, структура яких твердий розчин легуючих елементів в α -титані. Основний легуючий елемент у них алюміній. Крім того, сплави можуть містити нейтральні елементи (Sn, Zr) і невелику кількість β -стабілізаторів (Mn, Fe, Cr, Mo);

2) $\alpha + \beta$ -сплави, що складаються з α - і β -твердих розчинів. $\alpha + \beta$ -сплави містять, крім алюмінію 2 - 4 % β -стабілізаторів (Cr, Mo, Fe і ін.). Структура $\alpha + \beta$ -сплавів після нагріву до β -області й деформації - пластини, які чергуються α - і β -фаз (рис. 6.1, б). Після значної деформації при температурах, що відповідають $\alpha + \beta$ -області, утворюється глобулярна (рівноосна), структура, коли зерна α -фази округлі (дископодібні), а β -фаза утворює сітку по межах зерен β -фази або представлена ізольованими зернами (рис. 6.1);

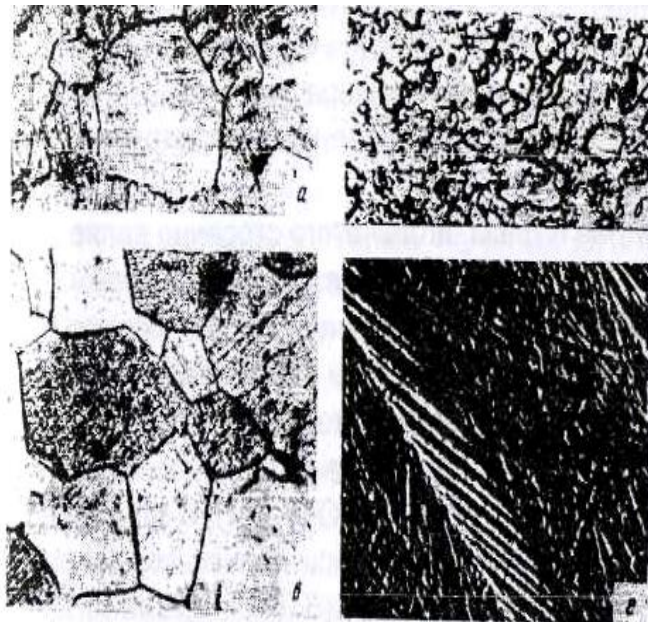


Рисунок 6.1 - Мікроструктура титанових сплавів, $\times 250$: а - пластини α - фази; б - $\alpha + \beta$ -фази; в - α -фаза; г - $\alpha'' + \beta$ -залишк.

3) β - сплави, структура - твердий розчин легуючих елементів в β -титані. Ці сплави містять велику кількість β -стабілізаторів. Найбільше застосовуються одержали α і $\alpha + \beta$ -сплави.

Титанові сплави, що застосовуються в техніці, поділяють на дві основні групи: *деформовані й ливарні*. Сплави першої групи використовують

для виробництва різних деформованих напівфабрикатів: кувань, смуг, листів, труб, профілів і т.д. Сплави другої групи застосовують для фасонного лиття.

Деформовані титанові сплави. Всі деформовані титанові сплави по їх структурі поділяють на три основні групи: α , $\alpha + \beta$ і β -сплави.

До першої групи відносять технічний титан, сплави Ti-Al, Ti-Al-Sn, Ti-Al-Zr зі структурою α -твердого розчину на основі модифікації α -Ti і сплави, що містять невеликі кількості β -фази.

Друга група сплави систем: Ti-Al-Mn, Ti-Al-Fe, Ti-Al-Mo, Ti-Al-Nb, Ti-Al-V, Ti-Al-Cr, Ti -Cr, Ti-Al-Mo-V, Ti-Al-Fe-Cr, Ti-Cr-Mo-Fe. У відпаленому стані ці сплави мають $\alpha + \beta$ структуру, відрізняючись друг від друга співвідношенням α і β -фаз. Однак в умовах швидкого охолодження (наприклад, при загартуванні у воді) в сплавах утворюються проміжні метастабільні фази й у залежності від вмісту β -стабілізуючої добавки вони можуть мати структуру, яка складається з мартенситної α -фази або метастабільної β -фази, з фіксовано високою температурою. У зв'язку із цим $\alpha + \beta$ -сплави поділяються на два класи: сплави мартенситного титану й сплави з метастабільною β -фазою.

Мартенситна β -фаза голчастої будови є проміжною метастабільною фазою, що утворюється при переході β в α -фазу: β в $\alpha + \beta$. Вона має ті ж кристаличні ґратки, що й α -фаза, але з деякими перекручуваннями її форми й розмірів, подібно мартенситу в сталях. При тривалому нагріванні мартенситна β -фаза переходить у стабільну α -фазу.

Третя група - сплави зі стабільною β -фазою і сплави, що містять, крім β -фази, невеликі кількості α -фази або інтерметалідних з'єднань. До цієї групи входить сплав системи Al-Cr-Mo (BT15).

Сплави титана. Розглянуті вище структурні особливості титанових сплавів у стабільному й метастабільному станах покладені в основу розподілу титанових сплавів на наступні групи:

- 1) α - сплави;
- 2) псевдо α -сплави;
- 3) $\alpha + \beta$ -сплави ($K_{\beta \text{ стаб}} \leq 0,25$); мартенситного класу ($K_{\beta \text{ стаб}} = 0,3 - 0,9$);
- 4) сплави перехідного класу ($K_{\beta \text{ стаб}} = 1,0 - 1,4$); 5) псевдо β -сплави ($K_{\beta \text{ стаб}} = 1,6 - 2,8$).

У таблиці 6.1 наведені механічні властивості титанових сплавів різних класів:

1) α - сплави мають порівняно невелику міцність, не піддаються термічній обробці, але сильно змінюються при холодному деформуванні. Сплави не холодноламкі, легко зварюються й мають високу термічну стабільність, тобто зберігають свої властивості при тривалому нагріві при робочих температурах і напругах. Їх недоліком є знижена технологічна пластичність.

Таблиця 6.1 – Механічні властивості типових титанових сплавів

Сплав	Вміст елементів, % (по масі)	σ_B , МПа	δ	ψ	a_n , МДж/м ²
			%		
α- сплави					
BT5	5Al	750-900	10	25	0,50
BT 5-1	5Al; 2,5Sn	800-100	10	25	0,40
Псевдо-α-сплави					
ВІД 4-1	1,5Al; 1,0Mn	600-750	15	35	0,45
BT20	6,0Al; 2,0Zr; 1,0Mo; 1,0V	950-1100	10	25	0,40
$\alpha+\beta$- сплави мартенситного класу					
BT6	6,0Al; 4,0V	900-1070/1100	10/6	30/20	0,40/0,30
BT14	4,5Al; 3,0Mo; 1,0V	900-1070/1120	10/6	35/12	0,50/0,25
BT23	5,0Al; 2,5Mo; 4,5V; 1,0Cr; 0,5Fe	1050-1200/1250	10/6	30/18	0,40/0,25
$\alpha+\beta$-сплави перехідного класу					
BT22	5,0Al; 5,0Mo; 5,0V; 1,0Cr; 1,0Fe	1100-1250/1300	9/6	25/16	0,30/0,20
Псевдо β-сплави					
BT32	2,0Al; 8Mo; 8,0V; 1,0Cr; 1,0Fe	800-950/1200	15-6	50/20	0,45/0,25

Псевдо α - сплавами називають сплави, що містять 2 - 6% α - фази внаслідок легування їх β - стабілізуючими елементами. Це поліпшує їх технологічну пластичність і полегшує обробку тиском не погіршуючи зварюваності.

Найбільше промислове застосування знайшли $\alpha+\beta$ -сплави мартенситного класу (табл. 6.1). У відпаленому стані їх структура складається з α - фази й 5 - 25% β - фази.

Ці сплави мають гарні механічні властивості (табл. 6.1), можуть бути зміцнені термічною обробкою, але мають знижену термічну стабільність. Після зварювання деталі потрібно піддавати термічній обробці для відновлення пластичності. Сплави перехідного класу складаються з α -фази й 25 - 50% β -фази, застосовуються як у відпаленому стані, так і після гартування й старіння. Сплави прокалюються в перетині до 200 – 250 мм, мають задовільну термічну стабільність, але після зварювання вимагають термічної обробки для відновлення пластичності.

Двофазні титанові сплави проявляють сверхпластичність при 850 - 950°C і швидкостях деформації 10^{-4} - 10^{-3} °C⁻¹. Відносне подовження досягає 1000% ($m = 0,4$ - 0,8). Крайні результати отримані після термомеханічної обробки, коли поєднують деформацію α -фази в процесі нагріву під гарт й у процесі розпаду мартенситу, при температурі $\alpha+\beta$ - області.

Псевдо β -титанові сплави містять у структурі в основному β -фазу, зміцнюються термічною обробкою в значних перетинах і мають високу пластичність у холодному стані. Термічна стабільність вище 200°C не велика, особливо при напруженні. β - сплави застосування не знайшли, однак

можуть бути використані як корозійностійкі, а також для короткочасної роботи при високих температурах до 1000 - 1200°C.

Області застосування сплавів. Титан і його сплави використовують там, де головну роль відіграють висока питома міцність і гарний опір корозії. Титанові сплави застосовують в авіації (обшивка літаків, диски і лопатки компресора і т.д.), в ракетній техніці (корпуси двигунів, балони для зріджених газів, сопла і т.д.) в хімічному машинобудуванні (обладнання для таких середовищ, як хлор і його розчини, теплообмінники, що працюють в азотній кислоті і т.д.), суднобудуванні (гребні, гвинти, обшивки морських суден, підводних човнів і торпед), в енергомашинобудуванні (диски і лопатки стаціонарних турбін), в криогенній техніці і т.д.

Експериментальна частина

Дослідити типові структури α -сплавів, $\alpha+\beta$ -сплавів, сплавів з метастабільною і стабільною β -фазою, структури титанових сплавів після гартування і старіння. Встановити зв'язок між структурою, діаграмою стану і термічною обробкою.

Виготовити мікрошліфи, охарактеризувати і схематично замалювати структури титанових сплавів, вказати марку, хімічний склад, структуру, особливості будови. Режим обробки.

Прилади й матеріали

Металографічний мікроскоп, зразки для дослідження, шліфувальна шкурка наступних розмірів зернистості: 20, 12, 6, 3, М63, М40, М28, М14, М10, М7, М5, набір шліфувальних паст, реактиви для травлення, вата, спирт, фільтрувальна папір, струбцини, шліфувальний верстат, оксид магнію або хрому, ацетон, дистильована вода.

Контрольні питання

1. Які характерні фізичні та механічні властивості титану і де він застосовується?
2. Які легуючі елементи розширюють область α -фази і область β -фази?
3. У чому відмінність α -сплавів від $\alpha+\beta$ -сплавів?
4. Які сплави титану більш часто застосовуються?
5. Які домішки найбільш небезпечні для титана і чому?
6. Опишіть характерні властивості титанових сплавів, застосування.

АЛЮМІНІЙ І ЙОГО СПЛАВИ

Мета роботи: вивчити мікроструктури алюмінію і його сплавів

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Алюміній - метал сріблясто-білого кольору. Температура топлення 600 °С. Алюміній має кристалічну ГЦК гратку з періодом, $a=0,4041$ нм. Особливістю алюмінію є низька щільність $-2,7$ г/см³. Алюміній має високу електропровідність.

Залежно від чистоти розрізняють: алюміній особливої чистоти А999 (99,999% Al); високої чистоти А995 (99,995% Al), А99 (99,99% Al), А97 (99,97% Al), А95 (99,95% Al) і технічної чистоти: А85, А8, А7, А6, А5, А0 (99,0% Al).

Алюміній має високу корозійну стійкість внаслідок утворення на його поверхні тонкої міцної плівки Al_2O_3 . Чим чистіше алюміній, тим вище корозійна стійкість. В якості домішок в алюмінії присутні Fe, Si, Cu, Mn, Zn.

Технічний алюміній виготовляють у вигляді листів, профілів, прутків, дроту та інших напівфабрикатів. Застосовують для виготовлення елементів конструкцій і деталей, що не несуть навантаження, наприклад, різні трубопроводи, палубні надбудови морських і річкових суден, кабелі, шини, корпуси годинників, фольгу, посуд та ін. Алюміній високої чистоти призначається для фольги, струмопровідних і кабельних виробів. Більш широко використовуються сплави алюмінію.

Класифікація алюмінієвих сплавів

Всі сплави алюмінію можна поділити на *деформуємі*, - призначені для отримання напівфабрикатів (листів, плит, прутків, профілів, труб і т.д.), а також поковок і штампових заготовок шляхом прокатки, пресування, кування і штампування, *ливарні* - призначені для фасонного лиття.

Деформуємі сплави по здатності зміцнюватися термічною обробкою поділяються на сплави, які не зміцнюються термічною обробкою, та сплави, які зміцнюються термічною обробкою.

Деформуємі Al сплави, які зміцнюються термічною обробкою

Дуралюміні - називають сплави Al-Cu-Mg, в які додатково вводять марганець. Марганець підвищує стійкість дуралюмінію проти корозії, а коли вони присутні у вигляді дисперсних частинок фази Т ($Al_{12}Mn_2Cu$), підвищує температуру рекристалізації і покращує механічні властивості.

В якості домішок в дуралюмінії присутні залізо і кремній. Залізо утворює з'єднання Al_2Cu_2Fe , нерозчинні в алюмінії. Залізо пов'язує мідь в цьому з'єднанні, внаслідок чого знижується ефект зміцнення при старінні. Кремній утворює фази Mg_2Si і $W(Al_2Mg_5Cu_4Si_4)$, які розчиняються в алюмінії

і при подальшому старінні зміцнюють сплав. Залізо і кремній, утворюючи грубі нерозчинні інтерметалідні фази, знижують тріщиностійкість K_{Ic} , тобто полегшують поширення тріщин при дії розтягуючих напруг.

Типовим дуралюном є сплав Д1, однак внаслідок порівняно низьких механічних властивостей виробництво його помітно скорочується. Сплав Д1 для листів і профілів замінюється сплавом Д16. Дуралюмін, виготовлений в листах, для захисту від корозії піддають плакіруванню, тобто покриттю тонким шаром алюмінію високої чистоти (не нижче 99,5%).

Зміцнення досягається гартуванням і старінням. Структура загартованого дуралюміна складається з пересиченого α -твердого розчину і нерозчинних сполук заліза. Дуралюмін після гартування піддають природному старінню, так як воно забезпечує отримання більш високої корозійної стійкості. Для підвищення корозійної стійкості дуралюмін піддають електрохімічному оксидуванню (анодуванню). Дуралюміни задовільно обробляються різанням в загартованому стані і погано - в відпаленому стані, добре зварюються точковим зварюванням і не зварюються плавленням внаслідок схильності до утворення тріщин. З сплаву Д16 виготовляють обшивки, шпангоути, стрингери і лонжерони літаків, силові каркаси, кузова вантажних автомобілів і т.д.

Сплави Авіаль (АВ). Ці сплави поступаються дуралюмінам по міцності, але мають кращу пластичність в холодному і гарячому станах. Авіаль задовільно обробляється різанням (після гартування і старіння) і зварюється контактним і аргоно-дуговим зварюванням. Сплав має високий загальний опір корозії, але схильний до межкристалітної корозії.

З сплаву Авіаль виготовляють різні напівфабрикати (листи, труби і т.д.), які використовуються для елементів конструкцій, що несуть помірні навантаження, крім того, лопасті гвинтів вертольотів, ковані деталі двигунів, рами, двері, для яких потрібна висока пластичність в холодному і гарячому станах.

Деформуємі А1 сплави, які не зміцнюються термічною обробкою.

До цих сплавів відносяться сплави алюмінію з марганцем або з магнієм (АМц, АМг). Зміцнення сплавів досягається в результаті утворення твердого розчину і в меншій мірі надлишкових фаз.

Магній сильно підвищує міцність сплавів. До 12 - 14% Mg пластичність змінюється мало, а потім різко падає. Сплави А1-Mg додатково легують марганцем, який, утворює дисперсні частинки Al_6Mg , зміцнює сплав і сприяє подрібненню зерна.

Сплави легко обробляються тиском (штампування, гнуття і т.д.), добре зварюються і мають високу корозійну стійкість. Обробка різанням утруднена. Сплави застосовують для зварних і клепаних елементів конструкцій, що зазнають невеликі навантаження і потребують високого опору корозії. Наприклад, сплави АМц, АМг2, АМг3 знайшли застосування при виготовленні ємностей для рідини (баки для бензину), трубопроводів, палубних надбудов, морських і річкових суден, у будівництві (вітражі, двері, перегородки і т.д.).

Ливарні Al сплави. Сплави для фасонного лиття повинні володіти високою жидкотекучістю, порівняно невеликою усадкою, малою схильністю до утворення гарячих тріщин і пористості в поєднанні з гарними механічними властивостями, опором корозії.

Високими ливарними властивостями володіють сплави, які містять у структурі евтектику. Евтектика утворюється в багатьох сплавах, в яких вміст легуючих елементів більше граничної розчинності в алюмінії. У зв'язку з цим вміст легуючих елементів в ливарних сплавах вище, ніж в деформованих. Найчастіше застосовують сплави Al-Si, Al-Cu, Al-Mg, які додатково легують невеликою кількістю міді і магнію (Al-Si), марганцю, нікелю, хрому (Al-Cu). Для подрібнення зерна, а отже, поліпшення механічних властивостей в сплави вводять домішки: Ti, B, V і ін.

Сплави Al-Si. Ці сплави отримали назву *силуміни*, близькі за складом до евтектичного сплаву і тому відрізняються високими ливарними властивостями, а виливки - великою щільністю.

Найбільш поширений евтектичний сплав АЛ2, містить 10 - 13% Si, володіє високою корозійною стійкістю. Сплав має хороші ливарні властивості, низьку температуру топлення, високу текучість, малу усадку, ін. Зміцнення сплаву досягається модифікуванням. Для цього в рідкий сплав вводять близько 0,01% натрію у вигляді суміші, що складається з 2/3 і 1/3 NaCl, в кількості 2,0 % маси рідкого металу. До модифікування сплав, який містить 12 - 13% Si складається з евтектики, яка має грубоголчату будову (рис. 7.1, а) і первинних кристалів β - фази (кремнію).



Рисунок 7.1 - Мікроструктури силуміну: а - до модифікування; б - після модифікування, $\times 250$

Після модифікування евтектика стає дрібнозернистою, а заевтектичні сплави по структурі стають доевтектичними з первинними дендритами α -розчину (алюмінію) (рис. 7.1, б).

При додаванні магнію в сплави на основі Al-Si утворюється з'єднання Mg_2Si і сплав набуває здатність зміцнюватися при термічній обробці. До цих сплавів відноситься сплав АЛ4, марганець додають для зменшення шкідливого впливу домішки заліза, що понижує пластичність сплаву. Сплав

має гарні ливарні і механічні властивості. Сплав АЛ4 застосовують для виготовлення великих і середніх деталей, що зазнають великі навантаження, а також деталей, що працюють при температурі до 200 °С.

Сплави А1-Сu. Ці сплави (АЛ7, АЛ19) після термічної обробки мають високі механічні властивості при нормальній і підвищеній температурі, добре обробляються різанням. Сплав АД7 використовують для відливання невеликих деталей простої форми. Сплав схильний до крихкого руйнування. Сплав АЛ19 – присутність в твердому розчині марганцю і утворення по межах інтерметалідних фаз підвищує жароміцність сплаву. Зміцнення сплаву досягається гартуванням і старінням при 175 °С протягом 3 - 5 годин. Сплави малостійкі проти корозії, тому виливки зазвичай анодують.

Сплави А1-Mg. Сплави мають низькі ливарні властивості, так як не містять евтектики. Характерною особливістю цих сплавів є гарна корозійна стійкість, підвищені механічні властивості й оброблюваність різанням. Додавання к сплаву (9,5 - 11,5 %Mo) модифікуючих присадок (Ti, Zr) покращує механічні властивості, а берилію - зменшує окислюваність розплаву, що дозволяє вести плавку без захисних флюсів. Сплави АЛ8 і АЛ27 призначені для виливків, які працюють у вологій атмосфері, наприклад в суднобудуванні і авіації. Додавання до сплавів А1-Mg до 1,5% Si (сплави АЛ13, АЛ22) покращує ливарні властивості в результаті утворення потрійної евтектики.

Жароміцні сплави. Широко використовують сплав АЛ1 (3,75 - 4,5% міді, 1,25 - 1,75% магнію, 1,75 -2,25% нікелю). Сплав має задовільні ливарні властивості, гарну зварюваність і оброблюваність різанням, але низьку герметичність і корозійну стійкість.

Експериментальна частина

Виготовити шліфи. Дослідити і вивчити мікроструктуру ливарних алюмінієвих сплавів. Встановити зв'язок між структурою і діаграмою стану.

Провести термічну обробку дуралюмінію марки Д1 і визначити твердість після гартування, старіння при температурах 100,150,175 і 300 °С і часу старіння 5, 15 і 30 хв. Скласти таблицю, побудувати графік старіння.

Дослідити мікроструктури, охарактеризувати і схематично замалювати мікроструктури.

Матеріали та обладнання

Зразки алюмінієвих сплавів, шліфувальні шкурки і паста, набір реактивів для травлення шліфов, мікроскоп МІМ-8, спирт, ємність з водою, фільтрувальний папір.

Контрольні питання

1. Які характерні фізичні та механічні властивості алюмінію, область застосування?
2. На які групи поділяються алюмінієві сплави в залежності від технології їх обробки?
3. Опишіть структуру і фазовий склад алюмінієвих сплавів.
4. Які високоміцні алюмінієві сплави Ви знаєте?
5. Який склад має сплав силуміну і як він зміцнюється?
6. З якою метою силумін модифікують натрієм?
7. Які сплави відносяться до ливарних алюмінієвих сплавів?
8. Опишіть алюмінієві сплави для кування і штампування.

МІДЬ І СПЛАВИ НА ЇЇ ОСНОВІ

Мета роботи: вивчити мікроструктури сплавів на мідній основі

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Мідь - метал червоного, в зламі рожевого кольору. Мідь має гранецентровану кубічну гратку. Температура топлення 1083 °С. Щільність - 8,944 г/см³. Міцність міді невелика, але вона має високу пластичність. Внаслідок цього мідь легко деформується в гарячому і холодному станах.

Мідь має високу електропровідність і теплопровідність. Тому мідь широко застосовують в електропромисловості. Технічну мідь використовують для виготовлення різних напівфабрикатів, в якості матеріалу для виплавки сплавів. Залежно від хімічного складу встановлюються такі марки міді: М00 (99,99% Cu), М0 (99,95% Cu), М1 (99,90% Cu), М2 (99,70% Cu), М3 (99,50% Cu). Присутні в міді домішки впливають на її властивості.

За характером взаємодії домішок з міддю їх можна поділити на наступні групи:

1) домішки, що утворюють з міддю тверді розчини - нікель, цирконій, сурма, олово, алюміній, миш'як, залізо, фосфор. Ці домішки покращують механічні властивості міді, але різко знижують (особливо сурма і миш'як) її електро- і теплопровідність;

2) домішки свинцю, вісмуту і інші практично нерозчинні в міді. При дуже малій кількості утворюють з нею легкоплавкі евтектики. Так, при вмісті 0,005% вісмуту мідь руйнується при гарячій обробці тиском. При більш високому вмісті міді стає ще й холодноламкою;

3) домішки кисню і сірки утворюють з міддю тендітні хімічні сполуки Cu₂O і Cu₂S. На електропровідність ці домішки майже не впливають. Сірка покращує оброблюваність міді різанням.

Кисень, якщо він присутній в міді, утворює з нею закис міді і викликає так звану «водневу хворобу». При нагріванні міді в атмосфері, яка містить водень, відбувається його дифузія вглиб міді.

Мідь слабо окислюється на повітрі, в воді, погано стійка в сірчаных газах і аміаку, легко обробляється тиском, але погано різанням і має невисокі ливарні властивості через велику усадку.

Для виготовлення деталей машин чисту мідь застосовують рідко через її знижену міцності. Механічні властивості міді зростають при введенні цинку, олова, алюмінію, кремнію, берилію. Ці сплави широко застосовують в машинобудуванні.

Сплави на мідній основі

Розрізняють дві основні групи мідних сплавів: *латуні* - сплави міді з цинком і *бронзи* - сплави міді з іншими елементами. Мідні сплави мають

високі механічні і технологічні властивості, добре пручаються зносу і корозії. Позначаються сплави початковою літерою (Л - латунь, і БР - бронза), після слідує перші літери основних елементів, що утворюють сплав. Наприклад, О - олово, Ц - цинк, Мц - марганець, Ж - залізо, Ф - фосфор, Б - берилій, Х - хром і т.д. В латунях перша цифра вказує вміст міді, подальші цифри в латунях і бронзах - вміст легуючих елементів.

Латунями називають подвійні або багатокомпонентні сплави на основі міді, в яких основним легуючим елементом є цинк. Латуні маркують літерою Л, після літери слідує цифра, яка вказує вміст міді у сплаві (Л96, Л62 і ін.).

Латуні мають значну в'язкість, тому при обробці різанням поверхня виробу виходить нерівною, в численних задирах. Для поліпшення оброблюваності в латунь додають невелику кількість свинцю. Сплави міді з цинком, які містять свинець, називаються *автоматними латунями*, до них відноситься латунь ЛС59-1.

Спеціальні латуні. До цієї групи належать латуні, в які для поліпшення механічних і хімічних властивостей додатково вводяться олово, кремній, марганець, алюміній і залізо.

При вмісті 0,5 - 1,5% олова поліпшується корозійна стійкість латуней, Кремній, магній, нікель, алюміній значно підвищують не тільки корозійну стійкість, але і механічні та антифрикційні властивості латуні. Залізо підвищує твердість. Латуні, які містять залізо, намагнічені.

Спеціальні латуні, які обробляють тиском, являють собою однорідні тверді розчини на основі міді. Тому вони мають високу пластичність.

Олов'яні бронзи. Олов'яні бронзи мають хороші ливарні властивості, їх застосовують для фасонного лиття. При литті в землю виливки мають грубозернисту будову і підвищену міждендритну пористість. Для усунення крупнозернистості й підвищення механічних властивостей деякі бронзи модифікують ванадієм (0,02 - 0,05%) і бромом (0,03 - 0,055%) або титаном (0,05%) і бором. Бронзи, особливо двофазні, мають високі антифрикційні властивості.

Бронзи з великим вмістом коштовного олова замінюють дешевшими бронзами, в які додають цинк і свинець (свинець покращує оброблюваність різанням). У олов'яні бронзи додають також фосфор (до 1%), який є розкислювачем і покращує ливарні властивості бронз. Фосфор підвищує механічні властивості.

Олов'яні бронзи зазвичай легують цинком, залізом, фосфором, свинцем, нікелем і іншими елементами. Цинк покращує технологічні властивості бронзи і здешевлює бронзу. Фосфор при вмісті > 0,3% утворює фосфід. Він покращує ливарні властивості, підвищує твердість, щільність виливки і зменшує ликвацію. Залізо подрібнює зерно, але погіршує технологічні властивості бронз і опір корозії.

Свинець не розчинний в міді, присутній в структурі бронзи у вигляді округлих виділень в об'ємі зерна. Легування свинцем знижує механічні

властивості бронзи, але підвищує обробку різанням і покращує антифрикційні властивості.

Розрізняють *деформуємі і ливарні олов'яні* бронзи. Деформуємі бронзи містять 4 - 6% Sn, до 0,4% P, до 4% Zn і до 2,5% Pb, їх виготовляють у вигляді прутків, стрічок та дроту в нагартваному (твердому) і відпаленому (м'якому) станах. Ці бронзи призначаються для пружин і пружних деталей, які застосовуються в різних галузях промисловості. Структура деформованих олов'яних бронз α -твердий розчин (рис. 8.1, б).

Ливарні бронзи, які містять велику кількість цинку, фосфору і нерідко свинцю, мають двофазну структуру: α -твердий розчин і тверді, крихкі включення δ -фази, які входять зазвичай в структуру евтекгоїда. Бронзи, особливо двофазні володіють високими антифрикційними властивостями.

а



б



Рисунок 8.1 - Мікроструктура бронзи (6% Sn): а - після лиття, б - після деформації і відпалу, х 250

Експериментальна частина

Виготовити мікрошліфи міді, латуні і бронз, вивчити їх мікроструктури. Встановити зв'язок між структурою і діаграмою стану. Побудувати термічні криві. Замалювати структуру мідних сплавів. Вказати марку, хімічний склад, структуру, особливості будови, режим обробки, застосування.

Прилади й матеріали

Металографічний мікроскоп. Зразки для дослідження, шліфувальна папір, набір шліфувальних паст, реактиви для труїння, вата, спирт, фільтрувальний папір, струбцини, оправки, сплав Вуда, шліфувальний верстат, парафін, оксид магнію і хрому, дистильована вода.

Контрольні питання

1. Вкажіть вплив домішок на властивості міді. Марки міді.
2. Де застосовується чиста мідь?
3. Чим відрізняються латуні від бронз?
4. Як маркуються латуні і бронзи?
5. Як впливає цинк на механічні і технологічні властивості латуні?
6. Як впливає олово на механічні властивості і структуру бронз?
7. Як поділяться домішки за характером взаємодії з міддю?

ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА СТАЛІ

Мета роботи: вивчити види хіміко-термічної обробки сталі

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Хіміко - термічної називається обробка, при якій відбувається зміна хімічного складу поверхневого шару за рахунок дифузії в сталь різних елементів із зовнішнього середовища при високих температурах.

Основні умови проведення хіміко - термічної обробки:

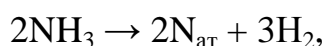
1. Метал, що піддається насиченню (основний метал), повинен бути розміщений в середовище, в якому утворюються активні атоми речовини, що дифундують.

2. Атоми речовини, що дифундує повинні розчинятися в основному металі, тобто компоненти повинні утворювати тверді розчини.

3. Необхідна досить висока температура, яка забезпечує рухомість атомів для необхідних дифузійних переміщень.

Будь-який процес хіміко-термічної обробки складається з трьох елементарних процесів:

1) утворення в зовнішньому середовищі активних атомів речовини що дифундує, наприклад, розпаду (дисоціації) аміаку з виділенням активного азоту по реакції:



або дисоціації окису вуглецю з виділенням атомарного вуглецю:



Швидкість дисоціації залежить від газового середовища;

2) абсорбції, тобто поглинання поверхнею основного металу вільних атомів речовини, що дифундує;

3) дифузії, тобто переміщення цих атомів всередину основного металу.

Швидкість дифузії залежить від температури.

Оптимальні умови ХТО - швидкість дисоціації дорівнює швидкості дифузії.

Основні види хіміко-термічної обробки

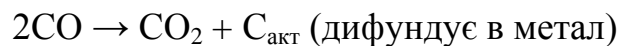
Цементация - насичення сталі вуглецем. Кінцевою метою цементации є отримання високої твердості і зносостійкості поверхневого шару при збереженні в'язкої і пластичної серцевини. Тому для цементации беруться вуглецеві й леговані сталі з невеликим вмістом вуглецю (0,1 - 0,2%). Останнім часом цементации піддаються сталі із середнім вмістом вуглецю (0,3 - 0,35% С). Цементация поділяється на *тверду, газову і рідку*.

Тверда цементация. У цьому процесі речовиною, що насичує є твердий карбюризатор, до складу входять: дерев'яне вугілля (краще березове) з добавками від 20 до 25% від ваги вугілля вуглекислих солей: BaCO_3 , CaCO_3 , Na_2CO_3 , K_2CO_3 , що прискорюють процес.

Карбюризатор повинен бути сухим. Вміст вологи в ньому має бути не більше 6%. Розмір часток карбюризатора повинен бути в межах 8 - 12 мм.

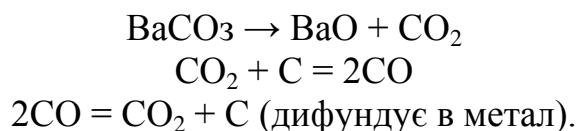
Деталі закладаються в металевий ящик і засипаються карбюризатором. Відстань між деталями, стінкою ящика і деталлю має бути 20 - 30 мм. Карбюризатор злегка утрамбовують, ящик замазують глиною, вставляють "свідки", потім ящик ставлять в підігріту до 600 °С піч і разом з піччю нагрівають до температури цементации 900 - 930 °С. Через деякий час "свідки" виймають, гартують, ламають і визначають глибину цементованого шару. Час цементации орієнтовно встановлюють з розрахунку 0,1 мм на 1 годину.

При нагріванні вуглець утворює окис вуглецю CO , яка при контакті з металевою поверхнею при високих температурах розкладається по реакції:



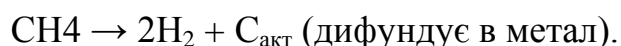
$\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ реакція знову повторюється. Кисень при цьому не витрачається.

Одночасно з розкладанням окису вуглецю йде розкладання і вуглекислих солей по реакції:



Газова цементация. Газова цементация здійснюється шляхом нагрівання виробу в газовому середовищі, яке містить вуглець. Для газової цементации застосовуються: газ піролізу гасу, бензолу і ін.

Найбільше застосування отримали газу, які одержані з піробензолу, керосіну і ін. Основною складовою цих газів є метан CH_4 . Ці газу можуть використовувати як в чистому вигляді, так і в суміші з газу - розчинниками. Вироби закладають в попередньо розігріту муфельну піч, потім в піч подають газ. Температура цементации 930 - 950 °С. При данній температурі відбувається дисоціація метану по реакції:



Глибина цементованого шару залежить від температури і часу цементации. Чим вище температура і більше час цементации, тим більше глибина шару. Однак збільшення температури сприяє зростанню аустенітного зерна, зменшенню терміну служби вогнетривкого муфеля. Ці недоліки можуть бути усуненні застосуванням для нагріву струмів високої частоти (ТВЧ). Температура цементации при цьому підвищується до 1000 -

1050 °С. За 45 - 50 хвилин при цій температурі отримують шар глибиною 0,8 – 1,0 мм.

Газова цементация в порівнянні з цементациєю в твердому карбюризаторі має ряд переваг:

1) час цементації скорочується, так як не потрібно часу для прогріву великої маси погано теплопровідного карбюризатора;

2) процес газової цементації легко регулювати і контролювати (склад і витрата газу);

3) процес легко механізувати і об'єднати операції цементації з наступною термічною обробкою;

4) поліпшуються умови праці, скорочується необхідна площа цеху, не потрібно виготовлення карбюризатора.

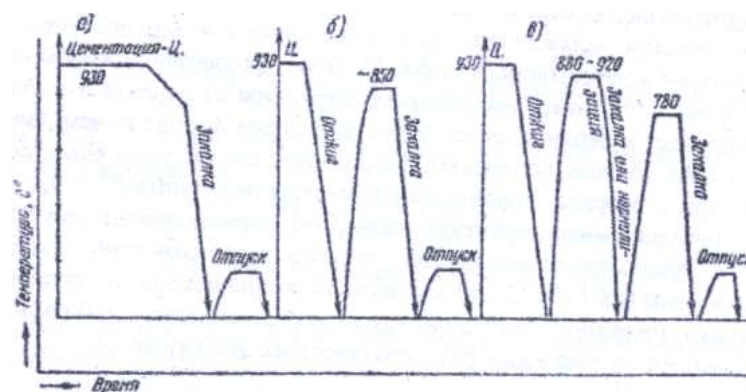
При повільному охолодженні після цементації в поверхневому шарі матимемо структуру заевтектоїдної сталі. У міру просування вглиб вміст вуглецю буде поступово зменшуватися. Структура від перліту і вторинного цементита перейде до перліту, далі будуть з'являтися ферит і, чим далі будемо йти від краю зразка, кількість фериту поступово збільшується до вихідної структури - фериту з невеликою кількістю перліту ($C = 0,1 - 0,2\%$).

Термічна обробка після цементації. Термічна обробка після цементації повинна забезпечити не тільки необхідну твердість і стійкість поверхні, але також має на меті подрібнення зерна, як в серцевині, так і в поверхневому шарі.

Високі температури цементації і тривалі витримки сприяють росту зерна аустеніту.

На практиці існує три режими термічної обробки після цементації.

1. Безпосередньо гарт з температури цементації 930 °С (рис. 9.1, а).



Руиснок 9.1 - Схема термічної обробки сталі після цементації: безпосередньо гарт з температури цементації (а); одинарна термічна обробка (б); подвійна термічна обробка (в)

Вироби після цементації виймають з ящика, підстужують до 750 °С, потім гартують у воді або маслі, в залежності від марки сталі. Після гарту отримують на поверхні структуру крупногольчастого мартенситу з великою кількістю залишкового аустеніту, всередині - грубозернисту структуру фериту і перліту. Для зменшення кількості залишкового аустеніту можна

після гарту обробити сталь холодом. Цей метод є найдешевшим, він знайшов широке застосування в масовому виробництві при обробці невідповідальних деталей. Застосовуючи спадково дрібнозернисті сталі для цементації, можна уникнути зростання зерна.

2. Одинарне гартування.

В цьому випадку виріб після цементації повільно охолоджується до кімнатних температур. Потім виконують загартування з температури 850 °С (рис. 9.1, б). У цьому випадку завдяки перекристалізації при нагріванні зерно подрібнюють, поліпшуються структура і механічні властивості.

3. Подвійна термічна обробка (рис. 9.1, в).

Виріб після цементації піддається подвійній перекристалізації при нагріванні. Перший нагрів має на меті подрібнення зерна серцевини, тому нагрівання сталі ведуть вище критичної точки A_c , (для сталі, що містить 0,2% С, $t = 920$ °С). При даній температурі нагріву розчиняється і цементитна сітка в поверхновому шарі. Охолодження після витримки можна вести в маслі або на повітрі.

Для поверхні, де вміст вуглецю $> 0,8\%$, ця температура нагріву буде відповідати перегріву сталі. Тому перший нагрів не подрібнює зерна в поверхновому шарі.

Другий гарт проводиться з температури 750 - 780 °С і має на меті усунення перегріву і додавання високої твердості поверхневого шару. Використовується подвійний гарт для особливо відповідальних деталей з великим зерном.

На рис. 9.2 наведена макроструктура шестерні після цементації і наступної подвійної термічної обробки.

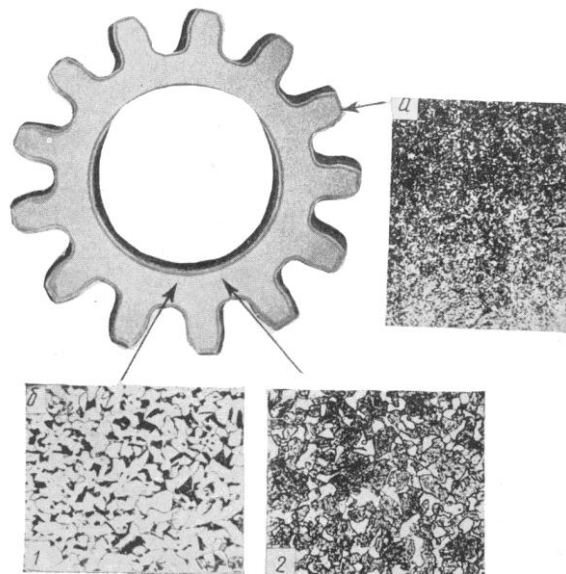


Рисунок 9.2 - Макроструктура і мікроструктура шестерні після цементації і подвійний термічний обробки: (а) - поверхня - мартенсит (HRC - 58 + 62); (Б) - серцевина: 1) для вуглецевої сталі (С - 0,2%) - ферит і перліт; 2) для легованої сталі (С - 0, 2%) - мартенсит і ферит (HRC- 30)

Після гарту для зняття внутрішніх напружень проводиться низький відпуск 150 - 200 °С. Структура при цьому не змінюється.

Азотування сталі - процес насичення поверхні виробу азотом. Процес азотування ведеться в атмосфері аміаку NH_3 при температурі 480-750 °С.

Азотування в промисловості застосовується для:

1. Підвищення твердості і зносостійкості на поверхні. Для цього застосовуються леговані сталі, що містять такі елементи, як Al, Cr, Mo, V і від 0,3 до 0,5% С. Ці легуючі елементи утворюють нітриди і карбонітриди, що володіють високою твердістю. Нітриди і карбонітриди виділяються в дисперсному вигляді по площинах ковзання і цим самим сильно підвищують твердість і зносостійкість. Перед азотуванням деталі піддаються поліпшенню (загартуванню та високому відпуску). Температура азотування 500 - 550 °С. При цьому отримують шар глибиною 0,4 - 0,6 мм за 35 - 45 год. Твердість на поверхності становить 1100 - 1200 одиниць по Вікерсу.

Азотування сталі - процес насичення поверхні виробу азотом. Процес азотування ведеться в атмосфері аміаку NH_3 при температурі 480-750 °С. Азотування в промисловості застосовується для:

1. Підвищення твердості і зносостійкості на поверхні. Для цього застосовуються леговані сталі, що містять такі елементи, як Al, Cr, Mo, V і від 0,3 до 0,5% С. Ці легуючі елементи утворюють нітриди і карбонітриди, що володіють високою твердістю. Нітриди і карбонітриди виділяються в дисперсному вигляді по площинах ковзання і цим самим сильно підвищують твердість і зносостійкість. Перед азотуванням деталі піддаються поліпшенню (загартуванню та високому відпуску). Температура азотування 500 - 550 °С. При цьому отримують шар глибиною 0,4 - 0,6 мм за 35 - 45 год. Твердість на поверхності становить 1100 - 1200 одиниць по Вікерсу.

2. Підвищення втомної міцності. Для цієї мети піддаються азотуванню конструкційні сталі будь-яких марок. У азотованному шарі виникають напруги стиснення, які і підвищують межу втоми. Після азотування міцність втоми зразків без надрізу підвищується на 30%, у зразків з надрізом - більш ніж на 225%. Температура азотування 600 - 675 °С. Тривалість процесу від 15 хвилин до 6 -10 годин.

3. Підвищення корозійної стійкості. Азотований шар має високу корозійну стійкість у воді і атмосфері повітря. Для цієї мети азотуванню піддаються сталі будь-яких марок. Режими азотування такий, як і при азотуванні з метою підвищення міцності втоми.

Ціанування сталі - одночасне насичення поверхні азотом і вуглецем. Процес ціанування можна проводити в твердому, рідкому і газоподібному середовищах.

Тверде ціанування проводиться аналогічно твердій цементації, тільки в карбюризатор додають азотовмісні речовини (ціаніст солі).

Рідке ціанування найбільш поширено в промисловості. Воно проводиться в суміші розплавлених ціаністих солей з нейтральними солями. Недоліком процесу є шкідливість ціаністих солей.

Газове ціанування проводиться в суміші навуглецьовуючого (світільного) і азотуючого (аміаку) газів.

За температурними умовами розрізняють:

1. *Високотемпературне ціанування*, яке проводиться замість цементації при температурі 900 - 950 °С. Додання аміаку прискорює процес, шар має більш високу твердість і зносостійкість, ніж при цементації. Після високотемпературного ціанування слідує гарт і низький відпустк.

2. *Середньотемпературне ціанування* проводиться при температурах 750 - 850 °С. Застосовується для підвищення зносостійкості деталей з середневуглецевої сталі (болти, гайки, шестерні). Після ціанування застосовується безпосередньо гарт і низький відпустк.

3. *Низькотемпературне ціанування* проводиться при температурах 550 - 560 °С для підвищення стійкості інструменту зі швидкорізальної сталі.

Процес ціанування в порівнянні з процесом цементації вимагає меншого часу для отримання шару заданої товщини, характеризується значно меншою деформацією і викривленням деталей складної форми і більш високим опором зносу і корозії.

Недоліком ціанування є висока вартість, отруйність ціаністих солей і необхідність у зв'язку з цим прийняття спеціальних заходів з охорони праці.

Борирування - насичення поверхневого шару сталі бором при нагріванні у відповідному середовищі. Дифузійний шар складається з боридів FeB і Fe₂B. Борируваний шар має високу твердість (1800 - 2000 HV), зносостійкість (головним чином, абразивну), корозійну стійкість, окаліностійкість (до 800 °С) і теплостійкість.

Борирування застосовують для підвищення зносостійкості втулок грязьових нафтових насосів, дисків п'яти трубобура, витяжних, згинальних і формувальних штампів, деталей прес - форм і машин для лиття під тиском. Стійкість вказаних деталей після борирування зростає в 2 - 10 раз.

Силіціювання - насичення поверхні сталі кремнієм. Силіціювання надає сталі високу корозійну стійкість в морській воді, в азотній, соляній та сірчаній кислотах і незначно збільшує стійкість проти зносу.

Силіційований шар є твердим розчином кремнію в α - залозі. Під дифузійним шаром часто спостерігається шар перліту. Це пояснюється відтісненням вуглецю з дифузійного шару внаслідок зниженої розчинності його в кременистому фериті.

Силіціюванню піддають деталі, які використовують в устаткуванні хімічної, паперової та нафтової промисловості (валики насосів, трубопроводи, гайки, болти і т. д.).

Поверхнєве насичення сталі алюмінієм, хромом, цинком та іншими елементами називають *дифузійним насиченням металами*.

Експериментальна частина

Дослідити мікроструктуру вуглецевих сталей після хіміко - термічній обробки (ХТО). Описати процеси, що відбуваються у вуглецевій сталі при ХТО. Пояснити призначення термічної обробки після цементації.

Дати характеристику і схематично замалювати мікроструктуру шліфів сталі після ХТО. Вказати: марку сталі, вміст вуглецю, твердість.

Контрольні питання

1. Що називається хіміко - термічною обробкою (ХТО)?
2. Назвіть умови проведення ХТО.
3. Які елементарні процеси ХТО?
4. Що таке цементація?
5. Як проводиться тверда цементація?
6. Які реакції відбуваються при газовій цементації?
7. Яка структура сталі після цементації?
8. Яка мета термічної обробки після цементації?
9. Мета азотування сталі?
- 11 Види ціанування.
12. Для чого проводять боридування і силіціювання сталей?

2. Завдання до контрольних робіт

Теоретичні питання

1. Загальна характеристика механічних властивостей
2. Механічні властивості, при динамічних іспитах
3. Фази в металевих сплавах
4. Діаграма фазової рівноваги
5. Компоненти і фази в системі залізо – вуглець
6. Діаграма стану залізо – цементит (метастабільна рівновага)
7. Вплив вуглецю і постійних домішок на властивості сталі
8. Сірий і білий чавуни
9. Високоміцний чавун з кулястим графітом. Ковкий чавун
10. Спеціальні чавуни
11. Загальна характеристика перетворення переохолодженого аустеніту (діаграма ізотермічного перетворення аустеніту)
12. Перлітне перетворення
13. Мартенситне перетворення в сталі
14. Проміжне (бейнітні) перетворення
15. Відпал I роду
16. Відпал II роду (фазова перекристалізація)
17. Гартування сталі
18. Відпуск сталі
19. Термомеханічна обробка сталі. Поверхнєве гартування сталі
20. Загальна характеристика процесів хіміко - термічної обробки сталі
21. Цементування сталі
22. Азотування
23. Ціанування
24. Борирування. Силіціювання
25. Вуглецеві конструкційні сталі
26. Легуючі елементи в конструкційних сталях
27. Конструкційні будівельні низьколеговані сталі
28. Сталі підвищеної та високої оброблюваності різанням (автоматні сталі)
29. Конструкційні машинобудівні цементуємі (нітроцементуємі) легovanі сталі
30. Конструкційні машинобудівні легovanі сталі, що поліпшуються
31. Мартенситностаріючі високоміцні сталі
32. Високоміцні тріп–сталі (ПНП–сталі)
33. Ресорно–пружинні сталі загального призначення
34. Шарикопідшипникові сталі
35. Зносостійка (аустенітна) сталь
36. Корозіонностійкі (нержавіючі) сталі і сплави
37. Жароміцні сталі і сплави
38. Сталі для інструмента, що ріже

39. Штампові сталі для деформування в холодному стані
40. Штампові сталі для деформування в гарячому стані
(напівтеплостійкі і теплостійкі)
41. Кристалічна структура берилію
42. Фізичні властивості берилію
43. Механічні властивості берилію
44. Структура й властивості титана
45. Сплави титана
46. Термічна обробка титанових сплавів
47. Структура й властивості алюмінію
48. Сплави алюмінію
49. Ливарні сплави
50. Сплави алюмінію із кремнієм
51. Сплави алюмінію з міддю
52. Сплави алюмінію з магнієм
53. Жароміцні ливарні сплави
54. Деформуючі сплави
55. Фізико-механічні властивості магнію
56. Сплави магнію
57. Ливарні сплави
58. Деформируемые магнієві сплави
59. Структура і властивості міді
60. Сплави на мідній основі
61. Структура і властивості нікелю
62. Сплави нікелю
63. Конструкційні сплави
64. Електротехнічні і електровакуумні сплави
65. Сплави з особливими фізичними і хімічними властивостями
66. Жароміцні сплави
67. Застосування нікелю і нікелевих сплавів
68. Структура та властивості олова і свинцю
69. Сплави олова та свинцю
70. Легкоплавкі сплави
71. М'які припої
72. Типографські сплави
73. Структура та властивості цинку
74. Сплави цинку
75. Фізичні й хімічні властивості платинових металів
76. Фізико-механічні властивості золота
77. Фізико-механічні властивості срібла
78. Вольфрам і його сплави
79. Молібден і його сплави
80. Тантал і його сплави. Ніобій його сплави

Практичні завдання

Конструкційні сталі, чавуни

№ 1. Заводу необхідно виготовити вал діаметром 70 мм для роботи з великим навантаженням. Сталь повинна мати межу текучості не нижче 75 кгс/мм², межу витривалості не нижче 40 кгс/мм² й ударну в'язкість не нижче 9 кгсм/см².

Завод має сталь трьох марок: Ст. 4, сталь 45 і 20ХНЗА.

Яку з цих сталей слід приміняти для виготовлення валу? Чи необхідна термічна обробка обранної сталі, і яка? Дати характеристику мікроструктурі, вказати механічні властивості після кінцевої термічної обробки.

Рішення

Хімічний склад сталей марок Ст. 4, сталь 45 і 20ХНЗА наведено в табл. 1

Таблиця 1 - Хімічний склад сталей, %

Сталь	ГОСТ	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
4	380 - 71	0,18 - 0,27	0,40 - 0,70	0,12 - 0,30	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,050	≤ 0,040
45	1050 - 60	0,42 - 0,50	0,50 - 0,80	0,17 - 0,37	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,0045	≤ 0,040
20ХНЗА	4543 - 71	0,17 - 0,23	0,30 - 0,60	0,17 - 0,37	0,60 - 0,90	2,75-3,15	≤ 0,025	≤ 0,025

Сталь марки Ст.4, відповідно до ГОСТ 380-94, має наступні властивості у стані поставки (після прокатки або ковки): $\sigma_b = 420 - 540$ МПа, $\sigma_t \geq 240 - 270$ МПа, $\delta \geq 23$ %.

Сталь 45, відповідно до ГОСТ 1050-88, у стані поставки (після прокатки або відпалу) має твердість не більше НРС 45. При твердості НВ 190 - 200 сталь має межу міцності σ_b не вище 600 МПа. Для відпаленої вуглецевої сталі відношення σ_t/σ_b складає приблизно 0,6. Тому, межа міцності сталі 45 в такому стані не перевищує 355 МПа.

Сталь 20ХНЗА, відповідно до ГОСТ 4543-71, у стані поставки (після прокатки і відпалу) має твердість не більше НВ•10⁻¹ = 255 МПа. Тому, межа міцності при твердості НВ 255 не перевищує 930 МПа і може бути для плавок з більш низькою твердістю. Тоді межа плинності складає 350 - 400 МПа, так як σ_t/σ_b для відпаленої легованої сталі 0,7 – 0,8.

Таким чином, для отримання заданої величини межі плинності вал необхідно піддати термічній обробці.

Для низьколегованої сталі Ст.4 поліпшений вплив термічної обробки незначний. Ст. 4, як сталь звичайної якості має підвищений вміст сірки і фосфору (табл. 2.1), які знижують механічні властивості і особливо опір ударним навантаженням.

Для такого відповідального виробу, як вал двигуна, поломка якого порушує роботу машини, використання більш дешевої за складом сталі звичайної якості нерационально.

Сталь 45 відноситься до класу якісної вуглецевої, а сталь 20ХН3А – до класу високоякісної легованої сталі. Вони містять відповідно: 0,42 – 0,50 і 0,17 – 0,23 % вуглецю і піддаються гарту.

Для підвищення міцності проводять нормалізацію або гартування з високотемпературним відпуском.

Останній варіант обробки складніший, але дозволяє отримати не тільки більш високі характеристики міцності, но і більш високу в'язкість. В сталі 45 мінімальне значення ударної в'язкості після нормалізації складає 1080 кДж/м², після закалювання і відпуску з нагріванням до 500 °С досягає 60 - 70 МПа.

Так, як вал двигуна приймає у роботі динамічні навантаження, а також і вібрації, більш доцільно проводити закалювання і відпуск.

Після закалювання у воді вуглецева сталь 45 отримує структуру мартенситу. Однак внаслідок невеликої прокаліваємості вуглецевої сталі ця структура у виробках діаметром більше 20 - 25 мм утворюється тільки у порівняно тонкому поверхневому шарі товщиною до 2 - 4 мм. Наступний відпуск викликає перетворення мартенситу і трооститу в сорбіт тільки у тонкому поверхневому шарі, но не впливає на структуру і властивості перлиту і фериту в основній масі виробів.

Сорбіт відпуску володіє більш високими механічними властивостями, ніж ферит і перліт.

Найбільшу напругу від вигину, кручення і повторнозмінних навантажень сприймають зовнішні шари, які і повинні володіти підвищеними механічними властивостями. Однак у опорі динамічних навантажень, які сприймає вал, приймають участь не тільки поверхневі, але і нижні шари металу.

Таким чином, вуглецева сталь не буде мати необхідні властивості по перетину вала діаметром 70 мм.

Сталь 20ХН3А легована нікелем і хромом для підвищення прокаліваємості і закаліваємості. Вона отримує після закалювання достатньо однорідну структуру і механічні властивості в перетині діаметром до 75 мм.

Для сталі 20ХН3А рекомендується термічна обробка:

1. Закалювання з 820 – 835 °С в маслі.

При гартуванні з охолодженням в маслі (а не в воді, як цього потребують вуглецеві сталі) виникають менші напруги, а відповідно, і менша деформація. После гартування сталь має структуру - мартенсит і твердість не нижче HRC 50.

2. Відпуск 520 - 530° С. Для попередження відпускнуї хрупкості, до якої чутливі сталі з хромом (марганцем), вал після нагрівання охолоджують в маслі.

Механічні властивості сталі 20ХН3А у виробках діаметром до 75 мм після термічної обробки:

Межа міцності	900 - 1000 Н/мм ²
Межа плинності	750 - 800 Н/мм ²
Межа витривалості.....	400 - 430 Н/мм ²

Відносне подовження	8 - 10 %
Відносне звуження	45 - 50 %
Ударна в'язкість	90 Н/см ²

Таким чином, ці властивості забезпечують вимогам данної задачі для вала діаметром 70 мм.

№ 2. Зубчасті колеса в залежності від умов роботи та напруг, що виникають, можна виготовляти із сталі звичайної якості, якісної вуглецевої і легованої з різним вмістом легуючих елементів.

Вибрати, керуючись технічною і економічною доцільністю, сталь для виготовлення колес діаметром 50 мм і висотою 30 мм з межею міцності не нижче 360 - 380 Н/мм².

Вказати термічну обробку колес, механічні властивості й структуру обранної сталі в готовому виробі, а для порівняння механічних властивостей і структури сталей 45 і 40ХН після термічної обробки поліпшенням.

№ 3. Обрати сталь для виготовлення валів діаметром 50 мм для двох редукторів. По розрахунку сталь для одного з валів повинна мати межу плинності не нижче 350 Н/мм², а для другого - не нижче 500 Н/мм².

Вказати:

- 1) склад і марку обраних сталей;
- 2) режим термічної обробки;
- 3) структуру після кожної операції термічної обробки;
- 4) механічні властивості в готовому виробі.

Чи можна застосовувати вуглецеву сталь звичайної якості для виготовлення валів необхідного перетину і міцності ?

№ 4. Колінчасті вали діаметром 80 мм, які працюють при підвищеній нарузі, виготовляють на одному заводі з якісної вуглецевої сталі, а на другому – з легової сталі.

Яку сталь слід приміняти для цієї мети? Вказати її хімічний склад і марку.

Рекомендувати режим гартування і відпуску, порівняти механічні властивості, які можуть забезпечити вуглецева якісна та легована сталь обраних марок для вала вказаного діаметру.

№ 5. Кузов автомобіля виготовляють холодним витягуванням сталюого листа.

Вибрати марку сталі для листа. Вказати хімічний склад сталі й особливості її виробництва, що забезпечує підвищену здатність до значного витягування.

№ 6. Заводу необхідно виготовити три вали двигунів. Вони повинні мати межу міцності не нижче 750 Н/мм², однак перший вал має діаметр 35 мм, другий 50 мм і третій 120 мм.

Обрати сталь для виготовлення валів, обґрунтувати зроблений вибір, рекомендувати режим термічної обробки і вказати структуру в готовому валу.

№ 7. На заводі виготовляють вали двигунів внутрішнього згоряння діаметром 60 мм із сталі с межою плинності 200 – 230 МПа, а відносним подовженням 20 – 22 %.

В подальшому отримано замовлення на вали такого ж діаметру для більш потужних двигунів, завод повинен був гарантувати межу плинності:

1) в валах одного типу не нижче 600 МПа, і ударну в'язкість не нижче 60 Н/см²,

2) в валах другого типу не нижче 800 МПа, і в'язкість не нижче 80 Н/см²,

Вказати сталі, режим термічної обробки, структуру та механічні властивості після кінцевої обробки.

Вказати, як зміниться відношення σ_T/σ_B у вибраних сталях після термічної обробки.

№ 8. Завод виготовляє два типи зубчастих коліс діаметром 60 мм і висотою 80 мм для роботи в однакових умовах. Межа плинності повиненна бути не нижче 540 – 550 МПа.

Однак другий тип зубчастих коліс відрізняється від першого більш складною формою.

Обрати сталь для зубчастих коліс вказаних двох типів і провести склад і марку, враховуючі технологічні особливості термічної обробки і необхідність попередження деформації, утворення тріщин при гарті.

Пояснити обраний вибір сталі, рекомендувати режим термічної обробки і вказати механічні властивості в готовому виробі.

№ 9. Черв' як редуктора діаметром 35 мм можливо виготовити із цементуємої та нецементуємої сталі. Доказати, в яких випадках доцільно використовувати цементуєму, і в яких нецементуєму сталь.

Межа міцності в серцевині повиненна бути 600 – 700 МПа.

Обрати марку цементуємої та нецементуємої вуглецевої якісної сталі. Вказати хімічний склад, рекомендувати режим ХТО і термічної обробки та порівняти механічні властивості сталі цих типів у готовому виробі.

№ 10. Цех виготовляє зубчасті колеса діаметром 50 мм із цементуємої сталі. Обрати сталь для зубчастих коліс, які працюють в умовах зносу і удару, але при підвищених навантаженнях.

Вказати хімічний склад обраних сталей, режим термічної обробки, пояснити призначення кожної операції термічної обробки та її вплив на структуру та властивості сталі.

Рекомендувати товщину цементованного шару для данного виробу.

№ 11. Заводу необхідно виготовити шпинделі для токарних станків, які працюють в умовах зносу, і для шліфувальних станків, які окрім того, повинні забезпечити високу точність обробки. Тому деформація шпинделів шліфувальних станків при кінцевій термічній обробці повинна бути мінімальною, а шпинделі, крім того, повинні мати високу зносостійкість.

Обрати сталь для шпинделів обох типів та рекомендувати режим термообробки.

Вказати структуру сталі та твердість поверхневого шару і сердцевини після кінцевої обробки.

№ 12. Колінчастий вал двигуна легкового автомобіля економічно виготовляти з чавуну - матеріала, мало чутливого, крім того до надрізу. Для цього використовують чавун підвищеної якості.

Обрати клас і марку чавуну з межою міцності не нижче 100 МПа і відносним подовженням 2 – 3 %.

Вказати структуру обраного чавуну і форму виділення графіту та пояснити, які зміни в цьому випадку необхідно внести до умов виплавки.

№ 13. Блоки циліндрів двигунів трактора виготовляють із чавуну з твердістю HB = 170 - 241 і підвищеною міцністю і зносостійкістю.

Обрати марку чавуну, привести його структуру і механічні властивості, вказати, яким повинен бути його склад для того, щоб забезпечити отримання заданих властивостей чавуна.

Які вимоги до хімічного складу і структури чавуну, якщо циліндри нагріваються в роботі до 500 - 600⁰С?

№ 14. Палець шарніра діаметром 30 мм працює на вигин, зріз повинен мати високу зносостійкість на поверхні, високу в'язкість в сердцевині.

Обрати вуглецеву сталь, привести її склад і марку, рекомендувати режим термічної обробки, вказати структуру, механічні властивості в сердцевині та твердість на поверхні після кінцевої обробки. Вказати бажану товщину твердого поверхневого шару.

Пояснити, у яких випадках необхідно обрати леговану сталь, і які механічні властивості можна гарантувати в сталі різних типів.

№ 15. Заводу необхідно виготовити зубчасті колеса складної форми діаметром 50 мм і висотою 100 мм. Вони повинні мати твердість на поверхні не нижче HRC 58 - 60, а в сердцевині межу міцності не нижче 50 - 60 МПа. Завод виготовив першу партію зубчастих коліс з вуглецевої цементуємої сталі, однак деякі зубчасті колеса отримали деформацію при гартуванні.

Обрати сталь і рекомендувати режим термічної обробки після цементації для отримання заданих механічних властивостей і попередження браку по деформації.

Вказати структуру сталі в сердцевині та поверхневому шарі після кінцевої обробки та причини, які викликають деформацію при гартуванні.

№ 16. Деякі деталі автомобіля (тормозні колодки, ін.), мають порівняно складну форму і працюють в умовах динамічних навантажень, можливо виготовляти не із сталі, а із чавуну, що дає суттєву економію у виготовленні. Однак при цьому необхідно, щоб чавун мав високі механічні властивості.

Рекомендувати спосіб виготовлення чавуну з межою міцності не нижче 350 Н/мм² і відносним подовженням не нижче 8 – 10 %, вказати його мікроструктуру і застосування.

Вказати марку, хімічний склад і механічні властивості сталі, яку можна використовувати для виготовлення аналогічних виробів.

№ 17. Для виготовлення вкладишів підшипників деяких механізмів замість кольорових металів (латуні і бронзи) використовують більш дешевий антифрікційний сірий чавун.

Вказати, яка структура металевої основи сірого чавуну і форма виділення графіту є найбільш придатною до того, щоб забезпечити підвищену зносостійкість вкладишу. Привести приблизні механічні властивості обраного чавуну, якщо найменша товщина вкладиша складає 15 - 20 мм.

№ 18. Поршневі пальці діаметром 30 мм і довжиною 50 мм за умов роботи повинні мати в'язку серцевину і тверду поверхню, гарний опір зносу (HRC 58 - 62).

Вказати режими обробки, які забезпечують отримання необхідних властивостей, якщо пальці виготовляють у великій кількості із сталей 20 і 45.

Привести хімічний склад сталі 20, порівняти тривалість витримки виробів із сталі 20 при цементації та з сталі 45 при інших способах обробки для отримання поверхневого твердого шару товщиною 0,8 - 1,0 мм. Вказати цикл всіх операцій термічної обробки поршневих пальців з цих сталей і механічні властивості в серцевині виробу з сталей 20 і 45.

№ 19. Шестерні піддають дії знакозмінних і ударних навантажень і повинні мати максимально однорідні властивості в продольному та поперечному напрямках. Їх виготовляють в залежності від типу деталей із сталі с межою міцності:

1. 700 - 750 МПа;
2. 900 - 950 МПа.

Ударна в'язкість в обох випадках повинна бути не нижче 70 - 80 МПа. Обрати сталь для шестерен обох типів, привести склад, марку, режим термічної обробки, мікроструктуру і механічні властивості в готовому виробі.

Сталі та сплави спеціалізованого призначення

№ 20. Деталі машин, які виготовлені із вуглецевої сталі, швидко зношуються при інтенсивній роботі на ґрунті. Використання легованої сталі з аустенітною структурою, яка має підвищену зносостійкість при ударних навантаженнях, дозволяє підвищити стійкість козирків і черпаків в декілько разів.

Навести хімічний склад сталі, яку використовують для цього, а також режим термічної обробки, структуру і властивості, пояснити причини підвищеної зносостійкості у вказаних умовах експлуатації.

Вказати для порівняння, яку сталь слід використовувати для виготовлення деталей, що працюють в умовах тертя і качіння одного металу по іншому, що не супроводжується ударами.

№ 21. Деталі машин для подрібнення руди і каменя працюють в умовах підвищеного зносу, який супроводжується ударами.

Обрати сталь для виготовлення щок і куль. Вказати хімічний склад і властивості, в тому числі обробляємість.

Рекомендувати найбільш ефективний технологічний процес виготовлення і режим термічної обробки щок і куль. Вказати структуру сталі в готовому виробі.

№ 22. Завод виготовляє середньомодульні циліндричні зубчаті колеса з сталі 45, зміцнює їх способом індукційного закалювання при поверхневому нагріванні. Однак впадина зубців при такій обробці не закалюється, колеса не отримують значної довговічності.

Рекомендувати:

а) марку сталі та обробку, яка забезпечить закалювання зубчатих коліс по всьому контуру, а також, зі зміцненням зуб'єв по всій їх поверхні;

б) привести для порівняння склад вуглецевої і низьколегованої сталі, яка придатна для виготовлення зубчатих коліс, що зміцнюються методом хіміко-термічної обробки.

№ 23. Багато деталей приладів і обладнання, які схильні до дії морської води, виготовляють із кольорових сплавів шляхом холодної деформації в декілько операцій.

Підібрати сплав, стійкий проти дії морської води, і привести його хімічний склад.

Вказати режим проміжної термічної обробки обранного сплаву і привести його механічні властивості після деформації і термічної обробки.

Порівняти склад сталі, стійкої проти дії морської води; привести режим її термічної обробки, механічні властивості і структуру.

№ 24. Лопатки реактивних і турбореактивних двигунів працюють в окислювальному середовищі при високих температурах (до 800 - 900⁰С). Сплави, з яких виготовляють ці деталі, повинні володіти підвищеною корозійною стійкістю (окаліностійкістю), високому опору повзучості, привалою міцністю при вказаних температурах.

Обрати склад сплаву, вказати методи термічної обробки і привести зміни структури і властивостей після основних операцій цієї обробки.

№ 25. Лопатки і інші деталі особливо потужних реактивних двигунів короткочасної дії працюють в сильно окисленому середовищі при високих температурах (1000 - 1500⁰С). Метал, з якого виготовляють ці деталі, має володіти підвищеною корозійною стійкістю, високими характеристиками короткочасної міцності при вказаній температурі.

Обрати метал або сплав для зазначених виробів, вказати його склад і властивості, а також привести метод захисту виробів від окислення.

№ 26. Багато деталей гідросамольотів виготовляють із високоміцної сталі (σ_b не менше 1200 МПа). За умов експлуатації ці деталі мають бути крім того, стійкі проти корозії в морській воді.

Обрати марку сталі, привести її хімічний склад, а також структуру і механічні властивості після закалювання.

Привести спосіб обробки обранної сталі для підвищення межі міцності до 1200 МПа, вказати, як змінюються інші механічні властивості сталі.

№ 27. Деталі гідронасосів – клапани, виготовляли із сталі 40Х. Однак подалі в нових більш потужних насосах, у яких швидкість руху потоку рідини різко зросла, поверхня клапанів із сталі 40Х швидко руйнувалась.

Пояснити причини, цих змін умов служби, що викликало руйнування клапанів, які явища цьому передували.

Рекомендувати склад сталі:

- а) в умовах великої швидкості потоку води;
- б) для насосів перекачування води.

№ 28. Котли багатьох теплових електростанцій працюють з тиском пару 500 атм. і температурі 600⁰С. В данному випадку для котлів необхідні сталі з високим опором повзучості.

Вказати марку, хімічний склад і структуру сталі, що здатна працювати в цих умовах.

Порівняти характеристики обранної сталі з властивостями іншої сталі, яку зазвичай використовують для котлів, що працюють при температурах 300 – 400⁰С.

№ 29. Багато деталей приборів і обладнання, які встановлюються на морських судах, повинні бути стійкими не тільки проти дії морської води, водного пару та атмосфери повітря, але і більш сильної корелуючої дії морської води.

Обрати склад сталі, яка стійка проти дії води, водного пару, вологого повітря й морської води.

Вказати марки, хімічний склад, режим термічної обробки, мікроструктуру і механічні властивості обраних сталей.

№ 30. В шестернях, виготовених із сталі 40Х з твердістю HRC 40 - 42, які експлуатуються при підвищених напругах, в тому числі динамічних навантаженнях, виникали тріщини при низьких температурах в умовах Півночі.

Пояснити причини, що викликають цей брак, і рекомендувати марку сталі поліпшеної якості, в'язкість якої мало зменшиться при пониженні температури з +20 и до -60⁰С.

Інструментальні сталі та сплави

№ 31. Стійкість сверл і фрез, які виготовлені із швидкорізальної сталі помірно теплостійкості марки Р12 і конструкційної сталі, які обробляють, твердістю НВ 180 – 200, була задовільною.

Однак, стійкість цих сверл різко знизилась при обробці жароміцної аустенітної сталі.

Рекомендувати швидкоріжучу сталь підвищеної теплостійкості, придатну для різання жароміцних сталей, вказати марку та хімічний склад, термічну обробку, мікроструктуру у готовому інструменті.

Співставити теплостійкість сталі Р12 і вибраної сталі.

Решення задачі № 31

Різажучий інструмент для продуктивного різання виготовляють із швидкоріжучих сталей, тому що ці сталі володіють теплостійкістю. Вони

зберігають мартенситну структуру і високу твердість при підвищеному нагріванні (500 – 650⁰С), які виникає у ріжучій кромці.

Однак стійкість інструментів зі швидкоріжучих сталей, які піддаються оптимальній термічній обробці, визначається не тільки їх хімічним складом, структурою і режимом різання, але сильно залежить від властивостей оброблюваного матеріалу.

При різанні сталей і сплавів з аустенітною структурою (нержавіючих, жароміцних та ін), які все більш широко застосовуються в промисловості, стійкість інструментів і гранична швидкість різання можуть сильно знижуватися в порівнянні з отриманими при різанні звичайних конструкційних сталей і чавунів з відносно невисокою твердістю (до *HB* 220 - 250). Це пов'язано головним чином з тим, що теплопровідність аустенітних сплавів знижена. Внаслідок цього тепло, що виділяється при різанні, лише в невеликій мірі поглинається стружкою та деталлю і в основному сприймається ріжучою кромкою. Крім того, ці сплави сильно зміцнюються під ріжучою кромкою у процесі різання, із-за чого помітно зростають зусилля різання.

Для різання таких матеріалів, яку називають важкооброблюваними, мало придатні швидкоріжучі сталі помірної теплостійкістю, що зберігають високу твердість (*HRC* 60) і мартенситну структуру після нагріву не вище 615 - 620 °С. Для обробки аустенітних сплавів необхідно вибрати швидкоріжучі сталі з підвищеною теплостійкістю, а саме кобальтові. Кобальт сприяє виділенню при відпуску карбідів і часток інтерметалідів, більш стійких проти коагуляції, що ускладнює процеси дифузії при температурах нагріву ріжучої кромки. Кобальтові сталі зберігають твердість *HRC* 60 після більш високого нагріву до 640 - 645° С. Крім того, кобальт помітно (на 30 - 40%) підвищує теплопровідність швидкоріжучої сталі, а отже, знижує температури ріжучої кромки через краще відведення тепла в тіло інструменту. Також, сталі з кобальтом мають більш високу твердість (до *HRC* 68 у сталі *P8M3K6C*).

Для сверл і фрез, які застосовуються для різання аустенітних сплавів, рекомендуються кобальтові сталі марок *P12Ф4К5* або *P8M3K6C*. Термічна обробка кобальтових сталей принципово не відрізняється від обробки інших швидкоріжучих сталей. Вона наступна. Інструменти гартують з дуже високих температур (1240 - 1250° С для сталі *P12Ф4К5* і 1210 - 1220° С для сталі *P8M3K6C*), що необхідно для розчинення значної кількості карбідів і насичення аустеніту (мартенситу) легуючими елементами: вольфрамом, молібденом, ванадієм і хромом. Ще більш значне нагрівання, додатково підсилює перехід карбідів в розчин, що неприпустимо: зростає зерно, що знижує міцність і в'язкість. Структура сталі після гарту: мартенсит, залишковий аустеніт (15 - 30%) і надлишкові карбіди, які не розчиняються при нагріванні та затримують ріст зерна. Твердість *HRC* 60 - 62.

Потім інструменти відпускають при 550 - 560° С (3 рази по 60 хв). Відпуск викликає:

а) виділення дисперсних карбідів та інтерметалідів з мартенситу (дисперсійне твердіння), що підвищує твердість до *HRC* 66 - 69;

б) перетворює м'яку складову - залишковий аустеніт в мартенсит;

в) знімає напругу, що виникає при мартенситних перетвореннях.

Після відпуску інструменти шліфують, а потім піддають ціануванню, найчастіше рідкому в суміші NaCN (50%) і N₂CO₃ (50%) з витримкою 15 - 30 хв. Твердість ціанованного шару на глибину 0,02 - 0,03 мм досягає *HRC* 69 - 70; трохи (~ на 10° C) зростає і теплостійкість. При нагріванні для ціанування знімаються також напруги, викликані шліфуванням. Ціанування підвищує стійкість інструментів на 50-80%. Після ціанування доцільно проводити короткочасне нагрівання при 450 - 500° C в атмосфері пари з охолодженням у маслі; поверхня інструменту набуває синій колір і трохи кращу стійкість проти повітряної корозії.

№ 32. Вибрати сталь для черв'ячних фрез, які обробляють конструкційні сталі твердістю *HB* 220 - 240.

Пояснити причини, за якими для цього призначення недоцільно використовувати вуглецеву інструментальну сталь У12 з високою твердістю (*HRC* 63 - 64).

Рекомендувати режим термічної обробки фрез з швидкорізальної сталі, прийнявши, що фрези виготовлені з прокату діаметром 40 мм.

№ 33. Завод має виготовити долбяки, які обробляють з динамічним навантаженням конструкційні сталі з твердістю *HB* 200 - 230.

Вибрати марку швидкорізальної сталі, найбільш придатну по призначенню, рекомендувати режим термічної обробки, вказати структуру і властивості (для долбяків зовнішнім діаметром 60 мм).

№ 34. Завод виготовляє черв'ячні фрези двох розмірів, зовнішнім діаметром 30 і 80 мм з катаної швидкорізальної сталі відповідного профілю.

Вибрати марку швидкорізальної сталі помірної теплостійкості і рекомендувати режим термічної обробки.

Вказати спосіб хіміко-термічної обробки, що дозволяє додатково підвищити стійкість фрез.

Пояснити, у чому полягає різниця в структурі та властивостях швидкорізальної сталі з прокату діаметром 30 - 32 і 80 - 82 мм.

№ 35. Інструменти з швидкорізальних сталей мають недостатню стійкість при різанні з підвищеною швидкістю (більше 80 - 100 м/хв.).

Вибрати марку інструментальних сплавів, придатних для різання з високої швидкістю:

а) сталей;

б) чавунів.

Вказати склад, структуру і властивості обраних сплавів і порівняти їх з аналогічними властивостями швидкорізальних сталей. Пояснити причини, за якими для обробки сталі слід обрати сплав іншого складу, ніж для обробки чавуну.

№ 36. У розпорядженні заводу є швидкорізальна сталі, двох марок:

а) вольфрам - молібденова Р6М5;

б) кобальтова P12Ф4К5.

Пояснити відмінність в основних властивостях цих сталей і рекомендувати оптимальне призначення кожної з них.

Вказати термічну обробку цих сталей, їх структуру та властивості у готових інструментах діаметром 20 і 60 мм.

№ 37. Цех виконує токарну обробку чавунних і сталевих деталей з великою швидкістю різання.

Вибрати сплави для різців, що забезпечують високу продуктивність обробки:

а) сталі;

б) чавуну.

Привести хімічний склад, структуру, твердість, міцність, теплостійкість і способи виготовлення цих сплавів і порівняти їх з аналогічними характеристиками швидкорізальними сталями.

№ 38. При обробці сталі з твердістю більше HB 280 – 300, різці з швидкорізальної сталі не мають достатню стійкість.

Вказати склад сплаву, який має більш високі ріжучі властивості.

Внаслідок високої вартості і значної крихкості такого сплаву привести спосіб виготовлення складових різців і вказати метал, з якого слід виготовити держак різця.

Порівняти структуру, твердість, теплостійкість і спосіб виготовлення обраного сплаву з аналогічними характеристиками швидкорізальної сталі.

№ 39. Вимірювальні інструменти (калібри, вимірювальні плитки) повинні володіти не тільки високою твердістю і гарним опором зносу, але і не повинні змінювати своїх розмірів з плином часу. Між тим вироби після гартування і низького відпуску іноді виявляють незначні зміни розмірів під час експлуатації, які неприпустимі для вимірювальних інструментів великої точності.

Вказати причини, що викликають ці зміни (старіння), і привести марку сталі та режим термічної обробки вимірювальних інструментів, що значно зменшує ефект старіння.

№ 40. Багато вимірювальних інструментів плоскої форми (шаблони, лінійки, штангенциркулі) виготовляють з листової сталі; вони повинні володіти високою зносостійкістю в робочих кромках. Привести режим обробки, що забезпечує одержання цих властивостей, якщо інструменти виготовляють великими партіями із сталей 15 і сталі 20.

№ 41. На машинобудівному заводі виготовляють зубчасті колеса з прутків сталі 40Х, яка постачається металургійним заводом з твердістю HB 160 - 180. Одна плавка сталі, що доставлена заводу, мала твердість HB 230 - 250.

Для обробки сталі підвищеної твердості вимають зниження режимів різання, прийнятих на заводі.

Вказати спосіб і режим термічної обробки, які дозволяють поліпшити оброблюваність різанням сталі цієї плавки.

Привести хімічний склад, структуру та режим термічної обробки сталі для фрез, придатних для обробки сталі 40Х.

№ 42. Отримання заготовок гарячою деформацією є продуктивним способом обробки.

Вибрати марку сталі для виготовлення великого молотового штампу (розмірами 500x400x400мм); рекомендувати режим термічної обробки штампа, вказати мікроструктуру та механічні властивості після відпуску.

Пояснити, чому подібні штампи не слід виготовляти з вуглецевої сталі.

№ 43. Сталеві склянки циліндрів двигунів внутрішнього згоряння виготовляють штампуванням в гарячому стані. Внутрішня порожнина утворюється шляхом прошивки - вдавленням пуансона в нагрітий метал, що встановлений у спеціальній матриці. Пуансон працює в умовах змінного нагріву (при прошивці) і охолодження (після прошивки).

Вказати температури штампування (прошивки) заготовок, якщо їх виготовляють з сталі 50.

Вибрати марку сталі для виготовлення пуансона діаметром 40 мм, обґрунтувати свій вибір; вказати режим термічної обробки та структуру сталі в готовому пуансоні.

№ 44. Для пуансонів гарячого видавлювання - операції, при якій штамп тривалий час знаходиться в контакті з нагрітим деформованим металом, необхідні теплостійкі штампові сталі.

Вибрати сталь для пуансонів видавлювання жароміцних сплавів: для цих умов обробки штампова сталь повинна зберігати підвищені властивості міцності при нагріванні до 700 - 720° С.

Рекомендувати режим термічної обробки штампів та її структуру в готовому штампі.

№ 45. Штампи складної форми, що особливо мають внутрішній отвір, сильно деформуються при гартуванні.

Рекомендувати температуру гарту штампів з високохромистої сталі Х12М, при виконанні якої значно зменшується деформація.

Вказати структуру сталі після гартування і пояснити причини, які сприяють зменшенню деформації.

№ 46. Штампи холодної вирубки сталевих листів повинні мати високу зносостійкість і по можливості кращу в'язкість.

Вибрати сталь для цього призначення та рекомендувати термічну обробку. Вказати твердість і структуру сталі.

Пояснити, в яких штампах: з найменшою стороною 50 або 90 мм сталь буде мати більш високі міцність і в'язкість, причини цієї відмінності.

№ 47. Штампи для холодної чеканки мідних сплавів і м'яких сталей повинні поєднувати високу твердість і опір пластичній деформації (що попереджає передчасне зминання робочої фігури штампа) з задовільною міцністю.

Вибрати марку сталі для штампів, вказати її термічну обробку і структуру в готовому штампі.

Пояснити причини, за якими для цього мало придатні сталі з високим вмістом вуглецю (~1%).

№ 48. Вироби з пластмас виготовляють пресуванням при невисокому нагріванні (~150° С). Матеріал прес-форми, в яку пресується пластмаса, повинен володіти високою зносостійкістю.

Вибрати марку сталі та режим обробки для прес-форм:

а) простої форми і невеликих розмірів;

б) складної форми; враховувати при цьому, що оброблюваність сталі різанням повинна бути гарною; крім того, деформація форми при термічній обробці повинна бути мінімальною.

№ 49. Пневматичні долота, які застосовують при розробці гірських порід, повинні мати відносно високу твердість (*HRC* 55-58) і зносостійкість, але разом з тим повинні мати достатню в'язкість, через те, що вони відчують у роботі ударні навантаження.

Вказати хімічний склад, марку вуглецевої сталі (для долоту простої форми) та легованої сталі (для великих долотів складної форми), режим термічної обробки, що забезпечує одержання необхідних структур і твердості.

№ 50. Вибрати марку сталі для виготовлення сокир. Лезо сокири не повинно зминатися або кришитися в процесі роботи; тому воно повинно мати твердість в межах *HRC* 50 - 55 на висоту не більше 30 - 40 мм; інша частина сокири не піддається гартуванню і має більш низьку твердість.

Вказати хімічний склад сталі, режим термічної обробки, що забезпечує отримання твердості в межах *HRC* 50 - 55, а також спосіб гартування дозволяє отримати цю твердість тільки в лезі сокири.

№ 51. Вибрати марку сталі для виготовлення повздожніх пил по дереву і вказати режим термічної обробки, мікроструктуру та твердість готової пилки.

Режим термічної обробки вибирається таким чином, щоб попередити деформацію пили при гартуванні і відпуску, а також забезпечити отримання в сталі високих пружних властивостей після відпуску (пила повинна «пружинити»).

Кольорові метали та сплави

№ 52. Черв'як редуктора для зменшення коефіцієнта тертя часто виготовляють із сталі, а вінець коліс - з сплаву на мідній основі.

Вказати марку та склад сплаву для вінця колеса, що володіє високими антифрикційними властивостями і межею міцності не нижче 250 МПа.

Пояснити, як змінюються механічні властивості сплаву в залежності від умов лиття (в кокіль або в землю).

Вказати для порівняння склад, термічну обробку, структуру і механічні властивості сталі для виготовлення черв'яка редуктора діаметром 30 мм, якщо межа міцності повинна бути не нижче 700 МПа.

№ 53. Багато деталей виготовляють з листа способом глибокої витяжки.

Вибрати склад кольорового сплаву, що володіє високою пластичністю та гарною здатністю приймати витягування; привести його склад і структуру.

Вказати режим і призначення термічної обробки, які застосовують між окремими операціями витягування для підвищення пластичності, а також механічні властивості після витягування та після термічної обробки.

Привести склад сталі, яку застосовують для глибокого витягування, і порівняти механічні властивості обраного кольорового сплаву з аналогічними властивостями сталі.

№ 54. Деякі гвинти, болти, гайки виготовляють з латуні на швидкохідних верстатах - автоматах. Латунь, володіє високою в'язкістю і пластичністю, не отримує достатньо чистої поверхні при обробці різанням.

Вибрати латунь застосування якої дозволяє отримати чисту поверхню і високу продуктивність при обробці сплаву різанням.

Порівняти механічні властивості та структуру обраного сплаву з аналогічними характеристиками латуні високої в'язкості та пластичності.

№ 55. Арматура котлів, які працюють в умовах прісної води і пари під тиском до 25 атм. (крани, вентиля, тощо), а також трубки та корпус приладів (наприклад, манометрів), що працюють в аналогічних умовах, виготовляють з кольорових сплавів, стійких проти корозії.

Вказати склад, спосіб виготовлення, структуру і механічні властивості:

а) сплаву з гарними ливарними властивостями та гарною оброблюваністю різанням для виготовлення арматури;

б) сплаву високої пластичності в холодному стані для виготовлення трубок і корпусів приладів.

№ 56. Деякі деталі арматури турбін, котлів гідронасосів, які працюють у вологій атмосфері та виготовляються значними партіями литтям, мають складну форму. В процесі лиття повинна бути забезпечена максимальна точність розмірів.

Вказати склад кольорового сплаву, його структуру та механічні властивості; привести спосіб лиття, що дозволяє створити необхідну високу точність з мінімальною подальшою механічною обробкою.

Привести хімічний склад сталі для форм, які застосовуються для лиття, вказати режим термічної обробки, а також структуру сталі в готовому виробі.

№ 57. Трубки в паросилових установках повинні бути стійкими проти корозії.

Обрати марку сплаву на мідній основі, який придатний для виготовлення трубок і не містить дорогих елементів; привести склад обраного сплаву.

Вказати спосіб виготовлення трубок і порівняти механічні властивості обраного сплаву, який отримали після остаточної обробки, з механічними властивостями сталі, стійкої проти корозії в тих же середовищах.

№ 58. Гребні гвинти морських пароплавів мають складну форму та дуже масивні, наприклад, маса гвинта сучасного великого океанського теплохода досягає 30 - 50 т.

Накреслити схему технології виготовлення гвинта, враховуючи його форму. Виходячи з цієї схеми та умов роботи гвинта в морській воді, підібрати склад сплаву та вказати його структуру, механічні властивості. Навести для порівняння хімічний склад, структуру та механічні властивості нержавіючої сталі, стійкої проти дії морської води, і пояснити, з яких причин застосування нержавіючої сталі менш раціонально для виготовлення гребних гвинтів.

№ 59. У хімічному машинобудуванні застосовують спеціальні латуні для виготовлення литтям корозійностійких важконавантажених деталей.

Вибрати марку сплаву з межею міцності не нижче 450 МПа, привести його склад, механічні властивості, структуру та вказати в яких середовищах такий сплав є стійким. Порівняти механічні властивості латуні обраного складу з аналогічними властивостями латуні ЛС59-1, вказати область застосування латуні ЛС59-1.

№ 60. Необхідно виготовити зубчасті колеса сплаву, стійкого до дії води і пари, що володіє невеликим коефіцієнтом тертя. Сплав повинен мати межу міцності не нижче 350 МПа.

Пояснити, чому в таких випадках не застосовують нержавіючу сталь, стійку проти корозії в умовах води і пари. Вказати склад і структуру кольорового сплаву, що не містить дорогих елементів та придатного для виготовлення подібних зубчастих коліс.

№ 61. Вкладиші шатунних підшипників двигунів внутрішнього згоряння виготовляють з бронзи; відрізняється високими антифрикційними властивостями і не містить особливо дорогих елементів. Підібрати склад сплаву і привести спосіб виготовлення з нього деталей, вказати його будову та механічні властивості, а також причини, за якими подібний сплав добре працює в умовах зносу.

Для порівняння привести склад і будову інших антифрикційних сплавів, що володіють більш низькими температурами топлення і застосовуються для заливки підшипників.

№ 62. Каркас літака, розрахованого на політ з дозвуковими швидкостями сприймає значні навантаження, часто виготовляють з легкого сплаву з межею міцності не нижче 400 МПа.

Привести склад і щільність сплаву, а також режим термічної обробки, структуру. Вказати його механічні властивості після кожної операції термічної обробки, пояснити, які перетворення в сплаві сприяють підвищенню міцності.

Порівняти механічні властивості обраного сплаву з механічними властивостями нержавіючої хромонікелевої сталі. При цьому враховувати, що деталі повинні володіти мінімальною питомою міцністю при даній температурі.

№ 63. Окремі високонавантаженні деталі літаків, наприклад, тяги управління, виготовляють з легкого сплаву з межею міцності не нижче 400 – 450 МПа.

Привести склад і щільність сплаву, а також режим термічної обробки та вказати структуру, механічні властивості після кожної операції термічної обробки. Вказати способи підвищення корозійної стійкості деталі з цього сплаву.

Окремі високонавантаженні елементи літака можна виготовити також з сплаву, що має щільність $4,5 \text{ г/см}^3$, межа плинності 75 кгс/мм^2 та володіє дуже високою стійкістю проти корозії (зокрема, в морській воді). Вказати сплав, що відповідає цим підвищеним вимогам.

№ 64. При значному підвищенні швидкості (за межі швидкості звука) літаків та інших літальних апаратів значно нагрівається обшивка та інші деталі конструкції; тому алюмінієві сплави, що застосовуються, виявляються непридатними в зазначених умовах служби.

Рекомендувати сплави на основі металу з щільністю $4,5 \text{ г/см}^3$, з підвищеними механічними властивостями і питомою міцністю при температурах $400 - 500^\circ \text{C}$.

Привести склад сплаву та його властивості при нормальних і підвищених температурах

№ 65. Для труб і інших деталей, що працюють в гарячій азотній кислоті та у розчинах хлористих солей, необхідні металеві сплави, які мають значну стійкість, ніж нержавіючі сталі.

Обрати марку сплаву, охарактеризувати його стійкість проти корозії в порівнянні зі сталлю 1X18H9T.

№ 66. Оберткові деталі багатьох установок реактивної техніки, які нагріваються до $500 - 600^\circ \text{C}$, необхідно виготовляти зі сплавів з меншою щільністю ($\sim 4,5 \text{ г/см}^3$) ніж у сталі.

Обрати марку сплаву, порівняти його жароміцність (тривалу міцність для 1000 годин) при 500°C з аналогічними властивостями:

- а) дюралюміна;
- б) жароміцної сталі 1X18H9T.

№ 67. Безшовні труби опріснюючих установок, що подають морську воду, нагріту до $80 - 120^\circ \text{C}$, доцільно для підвищення їх довговічності виготовляти зі сплаву з значною стійкістю прочив корозії в цих умовах, ніж у нержавіючої сталі.

Обрати марку сплаву і порівняти його властивості з властивостями нержавіючої сталі 1X18H9T.

№ 68. Нержавіючі сталі, в тому числі високолегованні аустенітного класу, не мають достатньої стійкості в соляній кислоті.

Обрати метал з щільністю $\sim 4,5 \text{ г/см}^3$ для баків і трубопроводів, що володіє високою стійкістю в зазначених умовах, порівняти механічні властивості обраного сплаву з аналогічними властивостями нержавіючої сталі 1X18H9T.

№ 69. Деталі коліс, агрегатів і приладів літаків, що мають складну форму і не мають великих механічних навантажень, виготовляють литтям з легких сплавів (щільність $2,7 \text{ г/см}^3$), які володіють гарними ливарними властивостями.

Обрати склад сплаву, вказати його мікроструктуру, а також способи підвищення механічних властивостей (в процесі виплавки). Які відбуваються при цьому зміни будови сплаву і механічних властивостей.

Вказати, для яких ливарних сплавів на залізній основі застосовують аналогічні способи покращення структури та властивостей.

№ 70. Деталі літаків, що мають порівняно складну форму (педалі, важелі, стійки педалей, тощо), виготовляють зі сплаву з гарними ливарними властивостями, що володіє, крім того, гарною оброблюваністю різанням. Межа міцності сплаву повинна, бути не нижче 220 МПа.

Рекомендувати склад сплаву, а також режим термічної обробки; вказати структуру і механічні властивості в готовому виробі.

Порівняти механічні властивості та режим термічної обробки обраного сплаву з аналогічними властивостями та режимом термічної обробки пластичнодеформованного сплаву на алюмінієвій основі.

№ 71. Головки поршневих авіаційних двигунів, що працюють при підвищених температурах, виготовляють з легких сплавів литтям.

Привести хімічний склад сплаву, що застосовують для цієї мети, вказати роль окремих компонентів сплаву, його структуру та механічні властивості.

№ 72. Поршні багатьох двигунів внутрішнього згорання виготовляють з деформованого сплаву на алюмінієвій основі з домішками легуючих елементів, що сприяють збереженню механічних властивостей при нагріванні до 250 - 300° С.

Вказати склад і властивості сплаву на алюмінієвій основі, що застосовують для цієї мети, а також рекомендувати складу сплаву на основі титану, який володіє підвищеною міцністю при температурах 400 - 500° С і, таким чином, придатного для виготовлення поршнів, які працюють при більш високих температурах.

№ 73. Зварні бензинові і масляні баки, від матеріалу яких не вимагають високих механічних властивостей, виготовляють в авіапромисловості з легких листових сплавів, що володіють підвищеною стійкістю проти корозії, пластичністю і здатністю добре приймати зварювання.

Рекомендувати склад сплаву, придатного для даного призначення, вказати його структуру та механічні властивості.

Для порівняння привести хімічний склад, а також режим термічної обробки та структуру сталі, стійкої проти корозії у вказаних середовищах.

№ 74. Зменшення маси поршня у двигунах внутрішнього згорання дає підвищення потужності.

Рекомендувати склад сплаву з мінімальною щільністю, придатного для виготовлення поршнів. Вказати хімічний склад сплаву, його механічні властивості і режим обробки.

Порівняти густину і механічні властивості обраного сплаву з аналогічними характеристиками сплавів на алюмінієвій основі, що застосовуються для виготовлення поршнів.

№ 75. Паливні і масляні баки та деякі інші деталі літаків виготовляють із сплаву з щільністю $1,7 \text{ г/см}^3$. Цей сплав має високу пластичність в гарячому стані, стійкість проти корозії, а також допускається зварювання довгих швів. Привести хімічний склад сплаву, його структуру і механічні властивості.

Порівняти склад, структуру, механічні властивості та щільність обраного сплаву з хімічним складом і аналогічними властивостями матеріалів, стійких проти корозії в умовах морської води та вологи: алюмінієвого сплаву і легованої сталі.

№ 76. Гальмівні колодки, барабани, кронштейни та інші деталі літаків у багатьох випадках виготовляють із сплаву з мінімальною щільністю.

Рекомендувати склад сплаву, який застосовують для цієї мети, та технологічний процес виготовлення деталей.

Вказати можливість термічної обробки сплаву, режим останньої, механічні властивості в готовому виробі та можливості підвищення корозійної стійкості сплаву. Привести щільність обраного сплаву і дюралюмінію.

№ 77. У хімічному машинобудуванні поряд з нержавіючої хромонікелевою сталлю застосовують також для виготовлення особливо відповідальних деталей сплав на нікелевій основі, який володіє високою пластичністю та стабільністю проти дії вологи, кислот і лугів.

Вказати хімічний склад сплаву, його структуру та умови застосування в конструкціях (з іншими металами).

Порівняти структуру, механічні властивості та ступінь стійкості проти корозії у вказаних середовищах обраного сплаву з такими ж властивостями нержавіючої хромистої і хромонікелевої сталі.

№ 78. Багато деталей у сучасних механізмах і машинах працюють на стирання, однак умови та характер зносу можуть бути різними. Тому застосовують зносостійкі матеріали, різні за складом і властивостями.

Вказати та обґрунтувати, в яких випадках і з яких причин слід застосовувати: високомарганцовисту аустенітну сталь; хромисту заевтектоїдну сталь (шарикопідшипникову); латуні та бронзи; підшипникові сплави (бабіти).

Привести хімічний склад перерахованих сплавів та умови їх обробки.

№ 79. Склад сплавів для заливання вкладишів валів обирають з урахуванням потужності двигуна.

Вказати хімічний склад підшипникового сплаву, що застосовують для заливання вкладишів насосів і турбонасосів потужністю до 500 л. с. і вище.

Вказати структуру та принцип побудови сплаву, а також роль і значення окремих елементів, що вводяться в сплав. Порівняти склад, властивості та області застосування обраного сплаву і підшипникового сплаву на мідній основі.

Термічна обробка вуглецевої сталі

№ 80. Для отримання рівноважної напруженої структури зразки зі сталі У12 піддавали повному відпалу при температурі 900 °С. Результат відпалу - різке збільшення крихкості. Встановити причину появи крихкості.

Вказати метод усунення дефектів.

№ 81. В результаті повного відпалу зразків з доевтектоїдної сталі 45 при температурі 1100 °С різко знизилась ударна в'язкість. Встановити причину появи крихкості.

Вказати термообробку, що дозволяє виправити дефект.

№ 82. Визначити температуру повного і неповного відпалу для сталі 40. Описати мікроструктуру та властивості сталі після кожного виду термообробки.

Вказати область застосування даних режимів обробки в промисловості.

№ 83. Рекомендувати режим термообробки сталі 65 для отримання твердості HRC 45...48 і вказати призначення такої обробки в промисловості. Описати мікроструктуру, отриману при такій термообробці.

№ 84. Після гартуванні сталі У12 з температури 750 °С отримали твердість HRC 58.

Вказати способи підвищення твердості данної сталі до HRC 63 ... 65.

№ 85. Для сталей 30 і 65 проведено повно гарт. Використовуючи теорію мартенситного перетворення, пояснити відмінність властивостей цих сталей після гартування. Описати мікроструктуру сталі 65 після гартування.

№ 86. Сталь 45 піддавалась гарту з температури 750 і 850 °С. Описати перетворення, які відбуваються при зазначених режимах термообробки, і пояснити причини отримання різних властивостей. Описати мікроструктуру сталі 45 після проведених термообробки.

№ 87. Зразки зі сталі У10 піддавали гарту при температурі 750 °С і гарту з відпуском при 500 °С. Вказати відмінність в структурі та властивостях загартованої і високовідпущеної сталі. Пояснити призначення високого відпуску для цієї сталі.

№ 89. Призначити режим термообробки сталі 45, яка забезпечує високу ударну в'язкість при високому рівні міцності. Описати мікроструктуру сталі, що забезпечує такі властивості.

№ 90. Вуглецеву сталь 45 піддавали гарту з температури 850 °С і охолодженню в маслі та воді.

Вказати структуру та описати властивості, які отриманні при різних способах охолодження. Пояснити причину відмінностей у властивостях.

***Вивчення мікроструктури і властивостей сталей і сплавів
з особливими властивостями***

№ 91. Для деталей, які працюють в окислювальній атмосфері, застосовується сталь 12X17.

Вказати склад і визначити групу сталі по призначенню. Призначити режим термічної обробки і пояснити вплив хрому на властивості сталі. Описати структуру та властивості сталі в готовому виробі.

№ 92. Для деталей, які працюють в контакті з міцними кислотами, обрано сталь 14X17H2.

Вказати склад і визначити групу сталі по структурі та призначенню. Пояснити вплив легуючих елементів на властивості сталі.

Призначити та обґрунтувати режим термічної обробки. Описати мікроструктуру і властивості сталі в готовому виробі.

№ 93. Для важконавантажених валів, які працюють в умовах підвищеного зносу та дії агресивного середовища, обрано сталь 20X17H2.

Вказати склад і визначити групу сталі по призначенню і структурі. Призначити і обґрунтувати режим термічної обробки. Пояснити вплив легуючих елементів на властивості сталі. Описати мікроструктуру і властивості сталі в готовому виробі.

№ 94. Для виготовлення високоміцних деталей, які працюють при низьких температурах (-196°C), обрано сталь H18K8M3.

Вказати склад і визначити групу сталі по призначенню. Призначити і обґрунтувати режим термічної обробки. Описати мікроструктуру і властивості сталі в готовому виробі.

№ 95. Для виготовлення деталей підшипників качіння обрано сталь ШХ15СГ. Вказати склад і визначити групу сталі по призначенню. Призначити і обґрунтувати режим термічної обробки, описати мікроструктуру та властивості сталі в готовому виробі.

Вказати вплив неметалевих включень на довговічність деталей підшипників качіння.

№ 96. Для виготовлення силових лопаток газових турбін обрано сплав ХН77ТЮ. Вказати склад і визначити групу сталі по призначенню. Призначити і детально обґрунтувати режим термічної обробки. Описати вплив температури на характеристики жароміцності цього сплаву.

№ 97. Обрати нержавіючу сталь для виготовлення деталей, що працюють в середовищі кислот при температурі не вище 40°C .

Вказати її хімічний склад, необхідну термообробку. Описати мікроструктуру і властивості сталі після термічної обробки. Пояснити фізичну природу корозійної стійкості сталі та роль легуючих елементів.

№ 98. Для вихлопних патрубків, що працюють при температурі 600°C , обрано сталь 12X18H10T.

Вказати склад і визначити клас сталі по структурі. Пояснити призначення легуючих елементів в сталі. Призначити і обґрунтувати режим термічної обробки, описати отриману структуру і властивості сталі.

№ 99. Призначити жароміцну сталь для клапанів потужних двигунів внутрішнього згорання.

Вказати склад і визначити клас сталі по структурі. Призначити і обґрунтувати режим термічної обробки. Описати мікроструктуру і властивості клапана після термічної обробки.

№ 100. Призначити нержавіючу сталь для роботи в слабоагресивних середовищах (водні розчини солей).

Вказати хімічний склад і пояснити фізичну природу корозійної стійкості обраної сталі. Призначити і обґрунтувати необхідну термічну обробку. Описати мікроструктуру і властивості сталі в готовому виробі.

№ 101. Для виготовлення нагрівальних елементів калориферів обрано сплав Х20Н80.

Вказати склад і визначити групу сплаву по призначенню. Пояснити вплив хімічного складу на формування основних властивостей сплаву. Описати мікроструктуру і властивості сплаву.

№ 102. Для виготовлення силових лопаток газових турбін обрано сплав ХН77ТЮР.

Вказати склад і визначити групу сплаву за призначенням. Призначити і детально обґрунтувати режим термічної обробки. Описати вплив температури на характеристики жароміцності цього сплаву і мікроструктуру сплаву після термічної обробки.

№ 103. Для виготовлення турбінних дисків обрано сталь 15Х12ВНМФ. Вказати склад і визначити групу сталі по призначенню. Призначити режим термічної обробки. Описати мікроструктуру і механічні властивості сплаву після термічної обробки.

№ 104. Вибрати марку сталі для виготовлення клапанів автомобільних двигунів.

Вказати склад і визначити групу сталі по призначенню. Призначити і обґрунтувати режим термічної обробки. Описати мікроструктуру і механічні властивості сплаву після термічної обробки.

№ 105. Для виготовлення деталей, що працюють в окислювальній атмосфері при температурі 800 °С, обрано сталь 08Х17Т.

Вказати склад і обґрунтувати вибір сталі для даних умов роботи. Пояснити вплив легування на корозійну стійкість даної сталі. Описати мікроструктуру і властивості сталі в готових виробах.

ЛІТЕРАТУРА

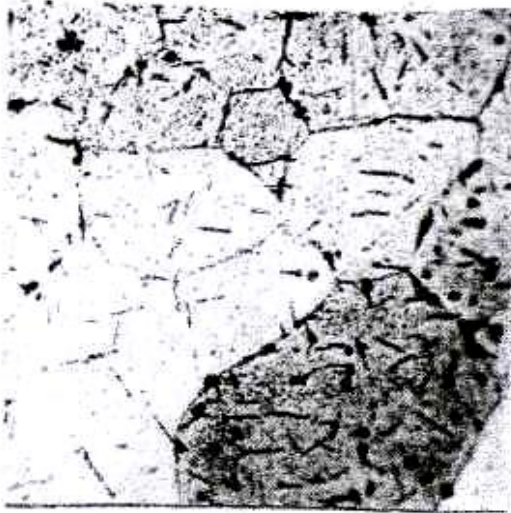
1. Лахтин Ю. М. Металознавство та термічна обробка металів: Учеб для вузів. 4-е вид., перероб. і доп. - М.: Металургія, 1993-448с.
2. Металознавство і термічна обробка кольорових металів та сплавів. Навчальний посібник для студентів /Укл.: Серета Б.П. - Запоріжжя: ЗДІА. 2007 – 300 с.
3. Попович В.В., Попович В.В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Підручник. – Львів: Світ. 2006. - 624с.
4. Богомолів І. А. Практическая металлография. - 3-е изд., перераб. і доп. - М.: Высш. шк., 1987 – 240 с.
5. Гринберг Б.Р., Иващенко Т.М. Лабораторный практикум з металловедення і термічна обробка - 2-е изд., перераб. і доп - М: Высш. дш.. 1968 - 320с.
6. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение: 6-е изд.– М.: Металлургия, 1989. – 282 с.
7. Мальцев М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1970. – 367 с.
8. Бернштейн М.Л. Прочность стали. – М.: Металлургия, 1974. – 199 с.
9. Журавлев В.И., Николаева О.И. Машиностроительные стали. Справочник.– М.: Машиностроение, 1981. – 391 с.
10. Конструкционные материалы. Справочник под ред. Арвамазова Б.И. М: Машиностроение. 1990. – 686 с.
11. Котречко О.О., Зазимко О.В. ін. Практикум з матеріалознавства: Навчальний посібник./Херсон.: ОЛДІ-ПЛЮС, 2013. – 500с.
12. Р.Н. Пантелеенко, Ф.И. Материаловедение: Лаб. практикум: Учебное пособие для вузов / Под ред. Л.С. Ляховича. – Мн.: Высш. школа, 1988.– 224 с.
13. Самохоцкий Ф.И., Кунявский М.Н. Лабораторные работы по металловедению и термической обработке металлов. – М.: Машиностроение, 1981. – 174 с.
14. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов.– М.: Металлургия, 1976. – 494 с.
15. Блантер М.Е. Теория термической обработки,– М.:Металлургия, 1984. – 238 с.
16. Бунин К.П., Баранов А.А. Металлография,– М.:Металлургия, 1970. – 253 с.
17. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – 5-е изд.– М.: Металлургия, 1983. – 526 с.
18. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., и др. Специальные стали.– М.: Металлургия, 1985. – 407 с.
19. Б.П. Серета, И.В. Кругляк, Л.В. Федоренко. Методические указания к лабораторным и практическим работам по курсу: «Металловедение и термическая обработка черных и цветных металлов». Для студентов специальностей: МЧМ, МКМ, ОМТ. – Запорожье: ЗГИА, 2002. – 120с.

АТЛАС

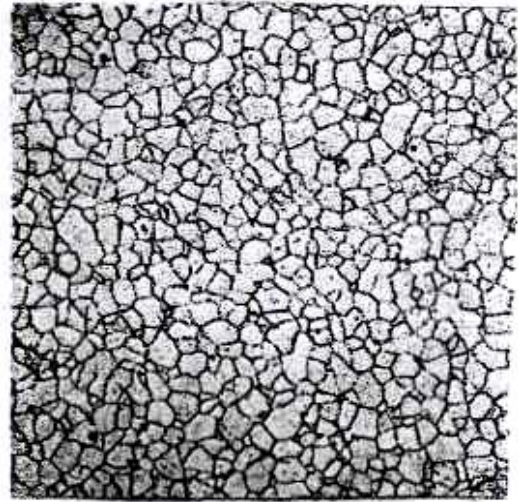
**МАКРО- І МІКРОСТРУКТУР ЧОРНИХ І КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ
І СПЛАВІВ [2]**

- Рис. 1. Ферит грубозернистий
- Рис. 2. Ферит дрібнозернистий
- Рис. 3. Ферит, неметалічні включення
- Рис. 4. Ферит і третинний цементит по границях зерен
- Рис. 5. Ферит і третинний цементит (травлення нітратом натрію)
- Рис. 6. Доевтектоїдна сталь 0,2% С
- Рис. 7. Доевтектоїдна сталь 0,3% С
- Рис. 8. Доевтектоїдна сталь 0,4% С
- Рис. 9. Доевтектоїдна сталь 0,5% С
- Рис. 10. Доевтектоїдна сталь 0,6% С
- Рис. 11. Доевтектоїдна сталь 0,7% С
- Рис. 12. Евтектоїдна сталь 0,8% С
- Рис. 13. Евтектоїдна сталь 0,8% С (зернистий перліт)
- Рис. 14. Заевтектоїдна сталь 1% С
- Рис. 15. Пластинчастий перліт при збільшенні, $\times 900$
- Рис. 16. Заевтектоїдна сталь 1,1% С
- Рис. 17. Заевтектоїдна сталь 1,3% С
- Рис. 18. Ферит у низьковуглецевій сталі після прокатки
- Рис. 19. Ферит, перліт і карбіди в хромистій сталі після прокатки
- Рис. 20. Ферит і перліт в вуглецевій сталі після прокатки
- Рис. 21. Ферит і перліт у литій сталі (крупнозернистість)
- Рис. 22. Видманштеттова структура в заевтектоїдній сталі
- Рис. 23. Видманштеттова структура в доевтектоїдній сталі
- Рис. 24. Білий доевтектичний чавун (перліт, ледебурит і вторинний цементит)
- Рис. 25. Білий евтектичний чавун (ледебурит)
- Рис. 26. Білий евтектичний чавун (ледебурит)
- Рис. 27. Білий евтектичний чавун (ледебурит)
- Рис. 28. Білий заевтектичний чавун (ледебурит і цементит)
- Рис. 29. Білий заевтектичний чавун (ледебурит і цементит)
- Рис. 30. Сірий феритний чавун
- Рис. 31. Сірий ферито - перлітний чавун
- Рис. 32. Сірий ферито - перлітний чавун
- Рис. 33. Сірий ферито - перлітний чавун
- Рис. 34. Сірий ферито - перлітний чавун
- Рис. 35. Сірий чавун, перлітний
- Рис. 36. Ковкий чавун, феритний
- Рис. 37. Ковкий чавун, феритний
- Рис. 38. Ковкий чавун, ферито - перлітний
- Рис. 39. Половинчастий чавун (графіт і ледебурит)
- Рис. 40. Ковкий чавун, перлітний
- Рис. 41. Ковкий чавун, перлітний
- Рис. 42. Високоміцний чавун, ферито - перлітний
- Рис. 43. Високоміцний чавун, феритний
- Рис. 44. Сірий перлітний чавун з фосфидною евтектикою

- Рис. 45. Кристал графіту
- Рис. 46. Загартована сталь (мартенсит і залишковий аустеніт)
- Рис. 47. Загартована сталь (мартенсит у межах границь зерен аустеніту)
- Рис. 48. Загартована сталь (мартенсит і залишковий аустеніт)
- Рис. 49. Загартована сталь (бейніт)
- Рис. 50. Загартована сталь (мартенсит і ферит, недогрів)
- Рис. 51. Загартована сталь (мартенсит і троостит)
- Рис. 52. Загартована легована сталь (мартенсит, карбіди й залишковий аустеніт)
- Рис. 53. Загартована легована сталь (мартенсит, карбіди й залишковий аустеніт)
- Рис. 54. Загартована нержавіюча нікелева сталь (аустеніт)
- Рис. 55. Швидкорізальна сталь після відпалу (перліт, ледебурит і карбіди)
- Рис. 56. Загартована швидкорізальна сталь
- Рис. 57. Сталь Гатфильда (аустеніт)
- Рис. 58. Сплав свинцю (темний) і сурьми, доевтектичний
- Рис. 59. Сплав свинцю й сурьми, заевтектичний
- Рис. 60. Латунь однофазна
- Рис. 61. Латунь однофазна, відпалена після кування
- Рис. 62. Латунь двофазна (40% цинку)
- Рис. 63. Латунь двофазна (38% цинку)
- Рис. 64. Латунь двофазна (43% цинку)
- Рис. 65. Олов'яна бронза
- Рис. 66. Алюмінієва бронза
- Рис. 67. Алюмінієво - залізна бронза
- Рис. 68. Олов'яна бронза
- Рис. 69. Баббит Б83
- Рис. 70. Бабіт складного состава
- Рис. 71. Бабіт свинцюватий
- Рис. 72. Бабіт Б16
- Рис. 73. Бабіт БТ
- Рис. 74. Латунь лита
- Рис. 75. Поперечний перетин зливка алюмінію (транскристалізація)
- Рис. 76. Макроструктура зварного шва (непровар)
- Рис. 77. Макроструктура зварного шва (пористість)
- Рис. 78. Макроструктура крюка, виготовленого ковкою



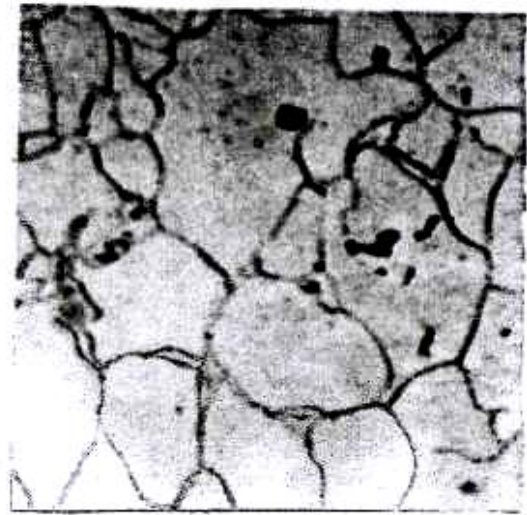
1



2



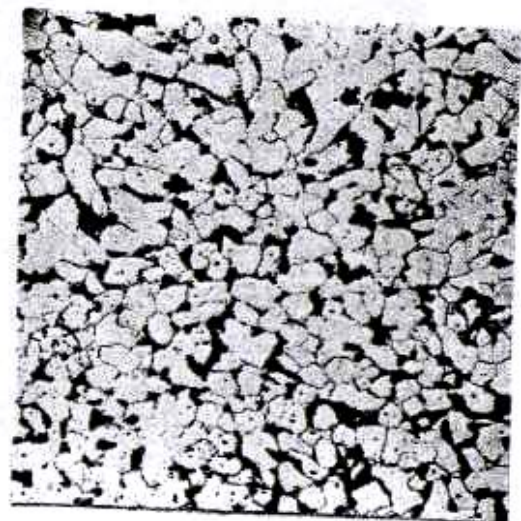
3



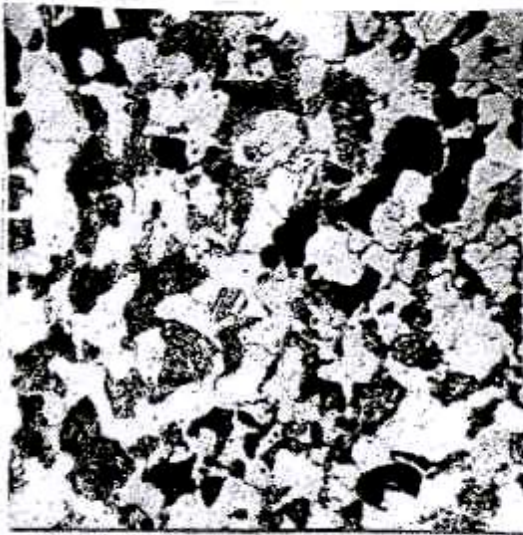
4



5



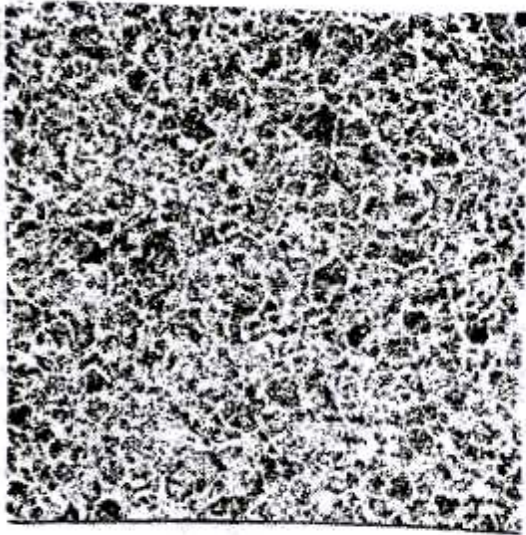
6



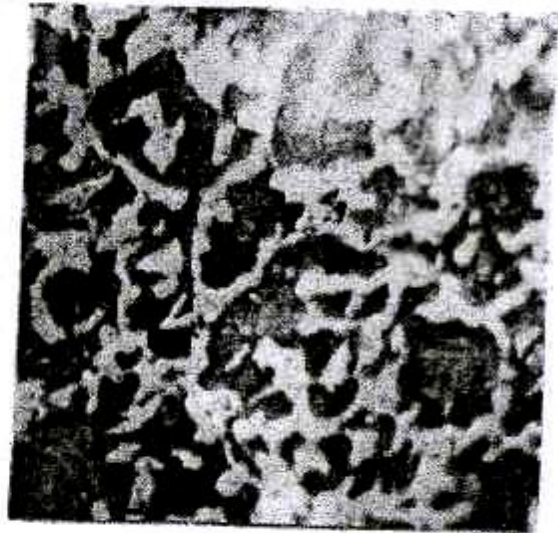
7



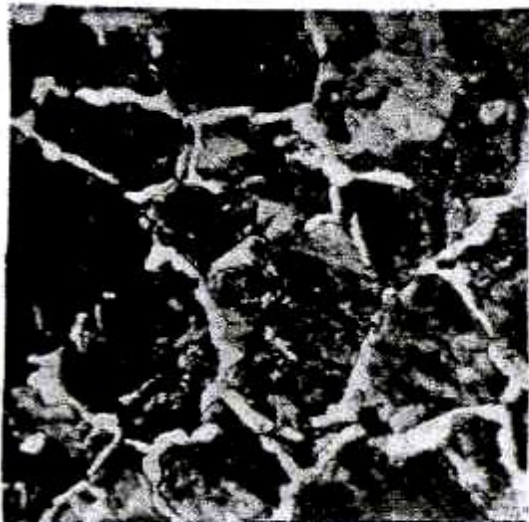
8



9



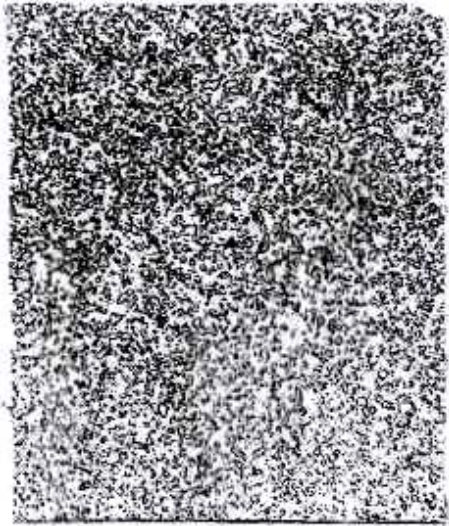
10



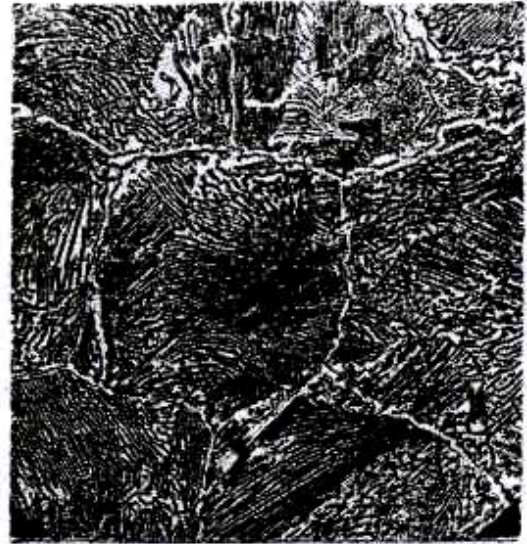
11



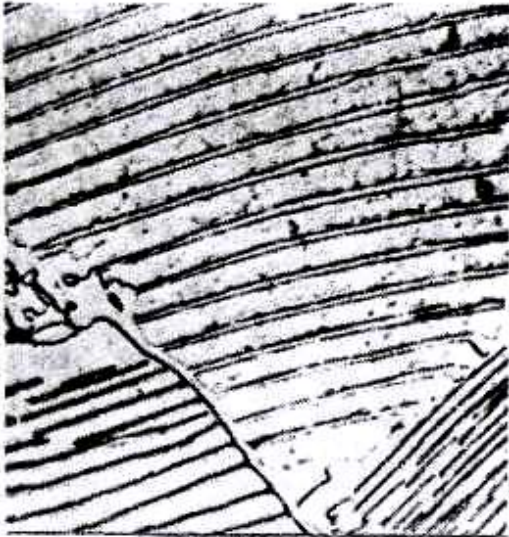
12



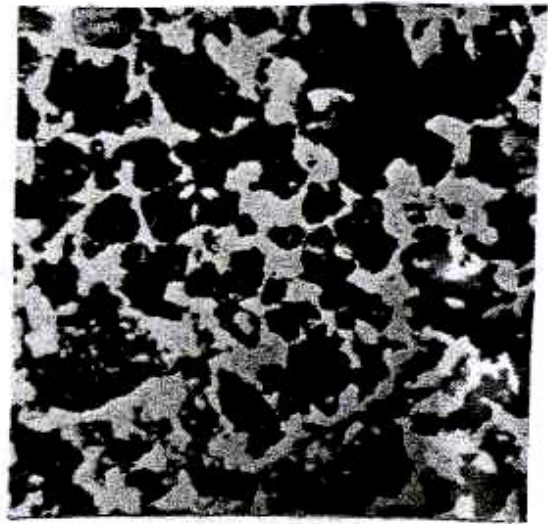
13



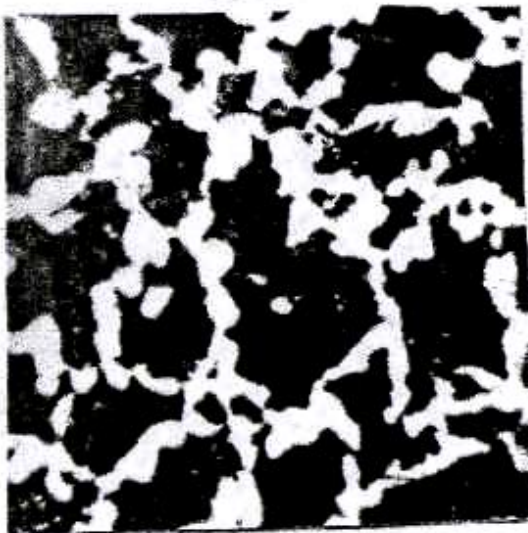
14



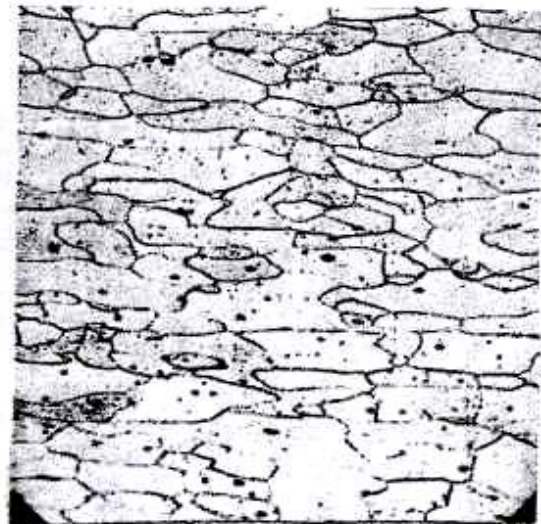
15



16



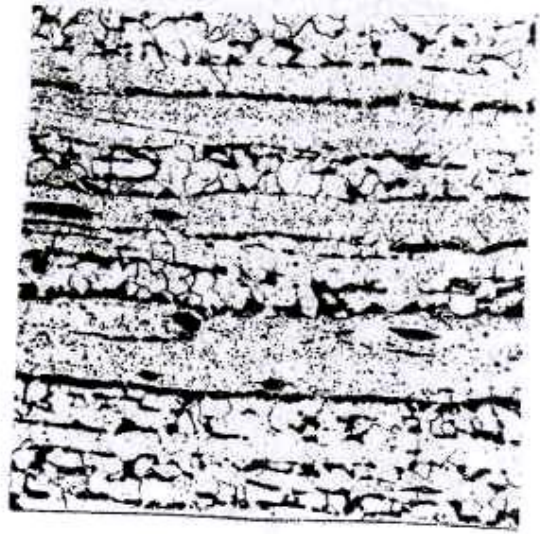
17



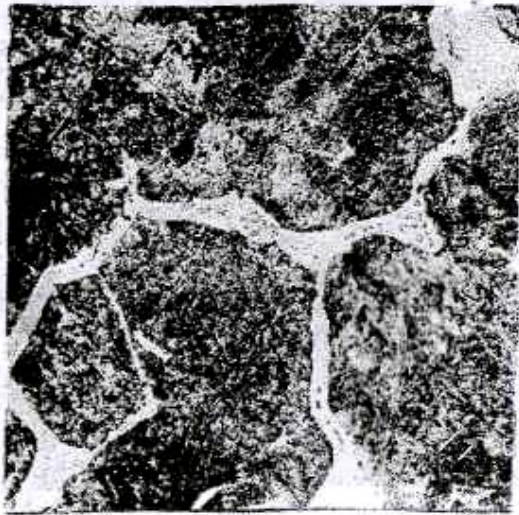
18



19



20



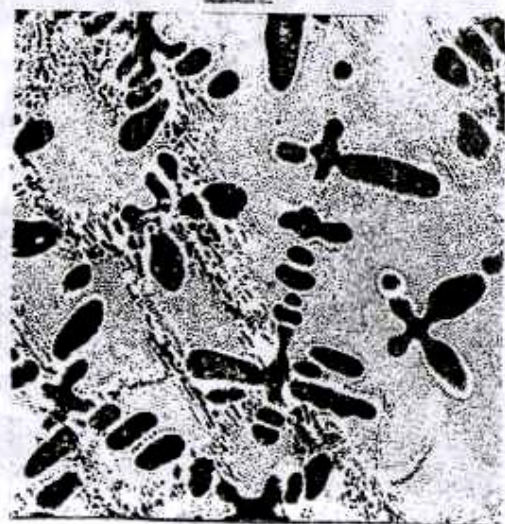
21



22



23



24



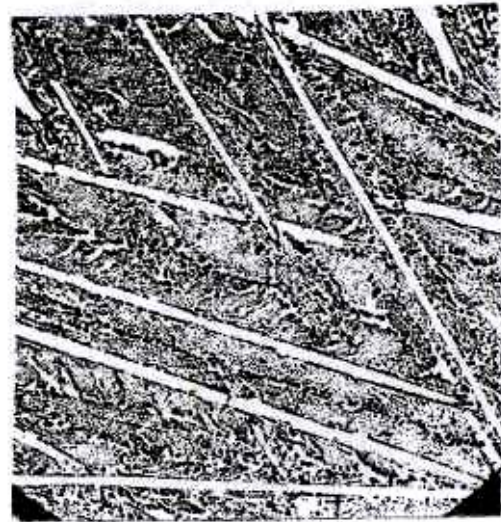
25



26



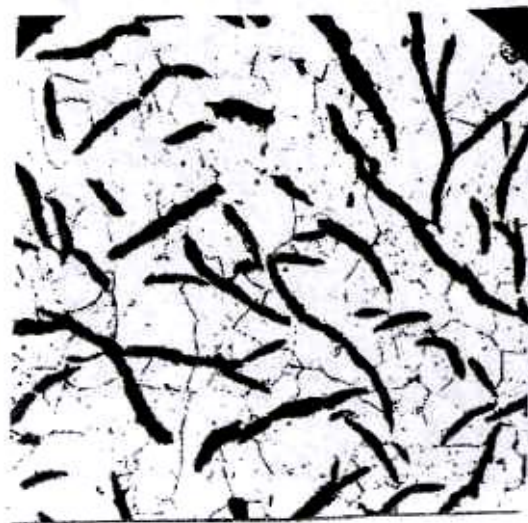
27



28



29



30



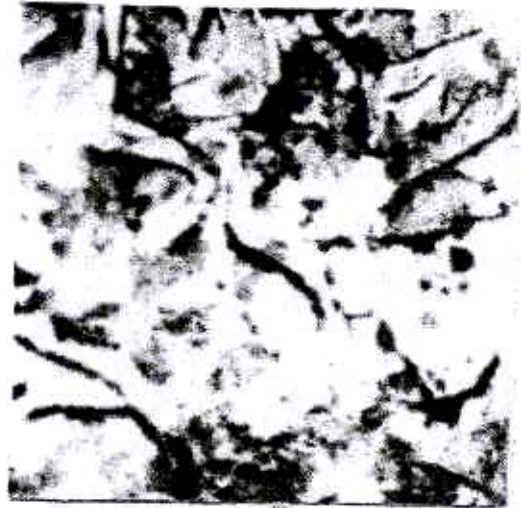
31



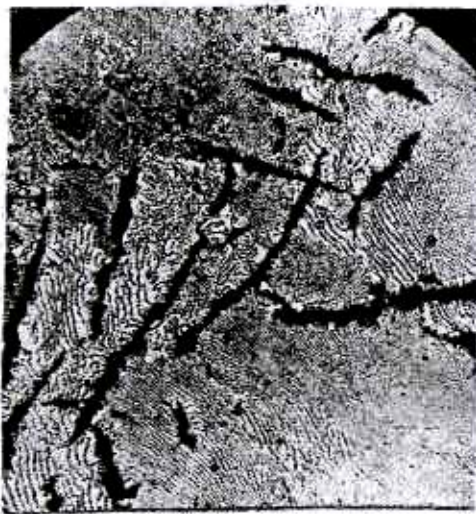
32



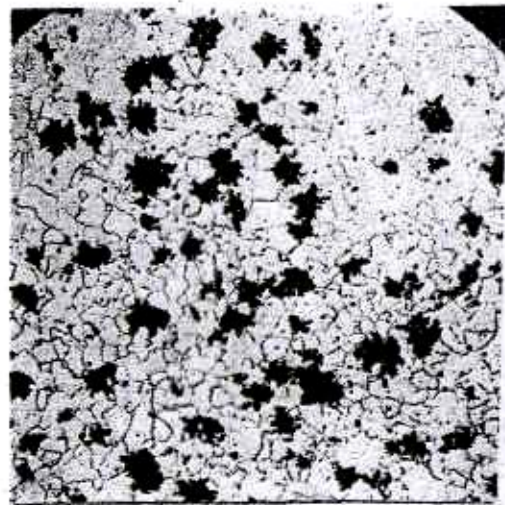
33



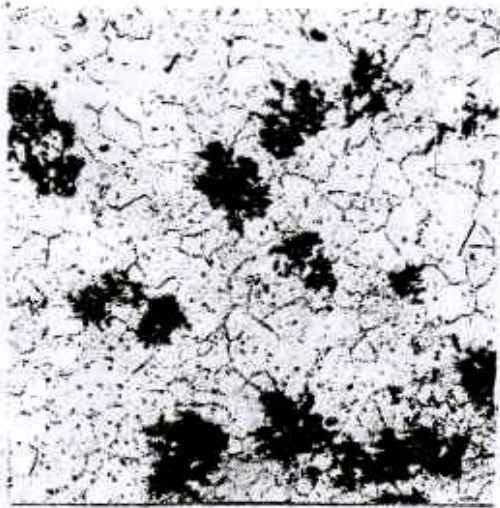
34



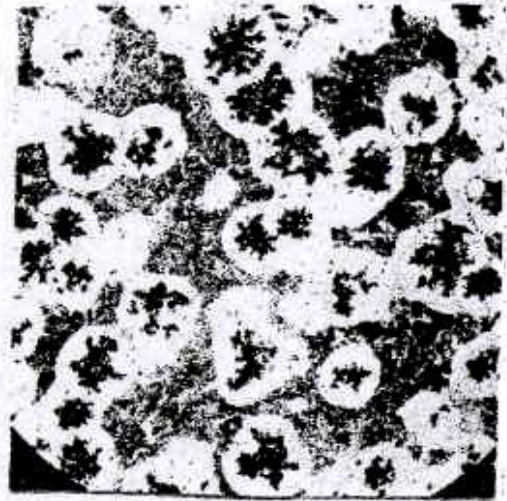
35



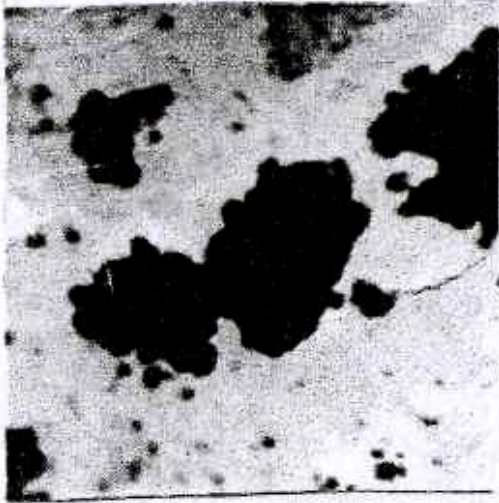
36



37



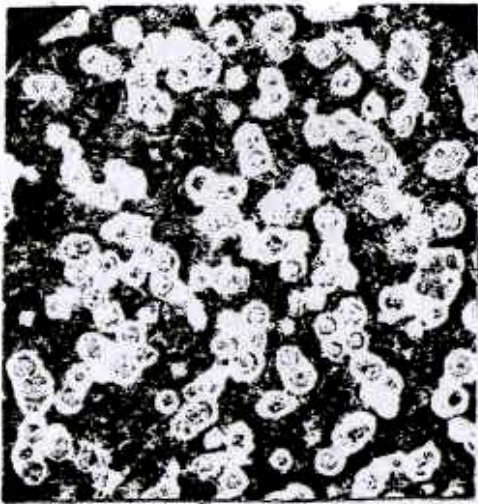
38



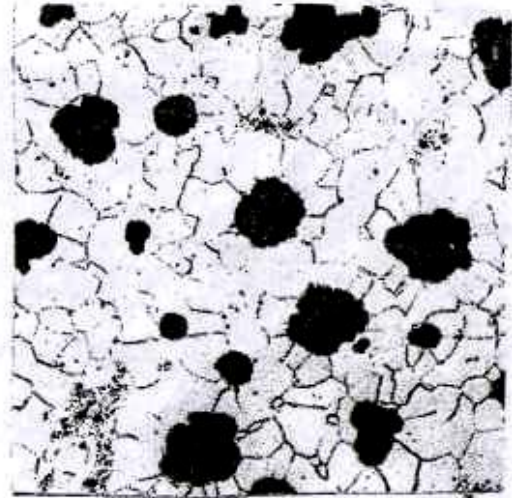
39



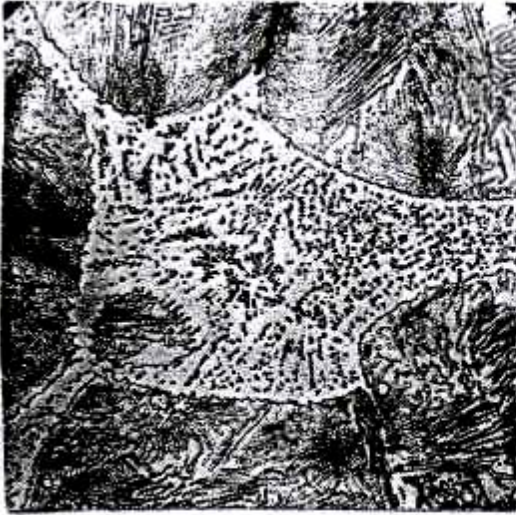
40



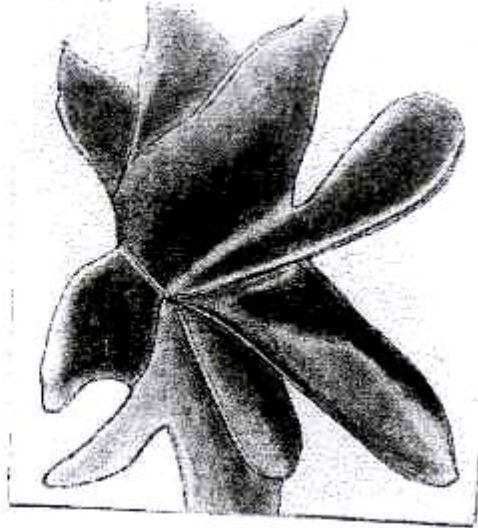
41



42



43



44



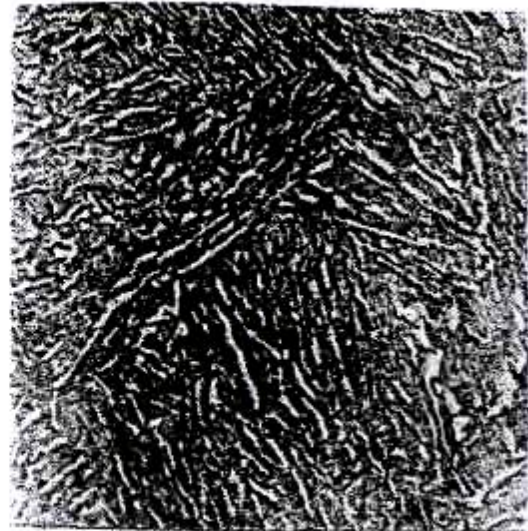
45



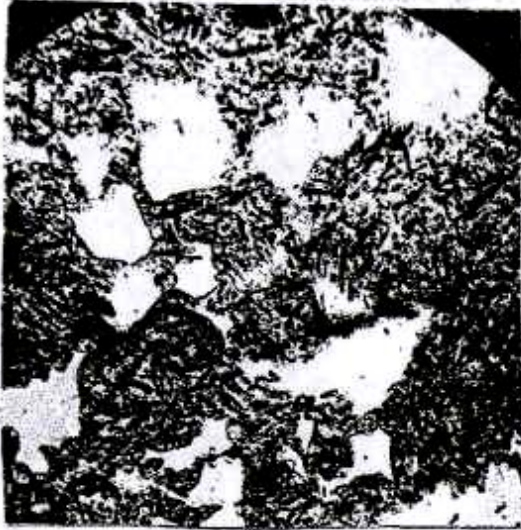
46



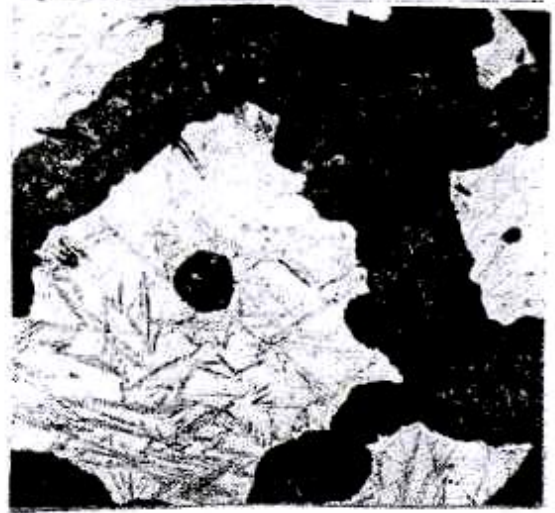
47



48



49



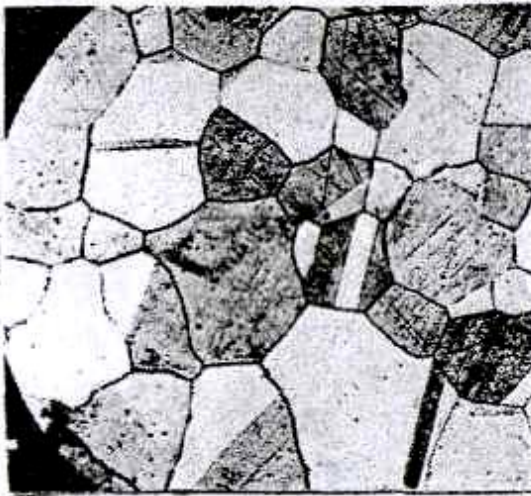
50



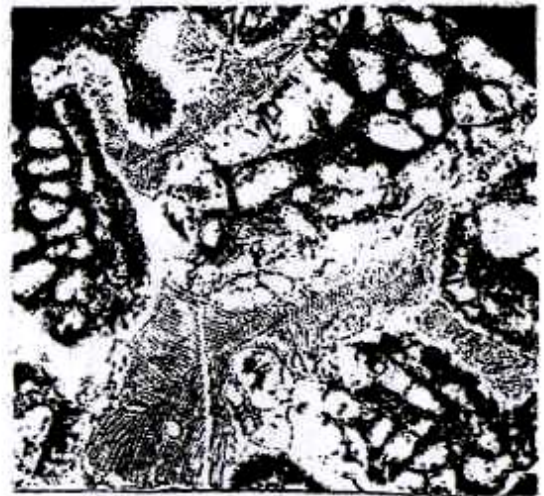
51



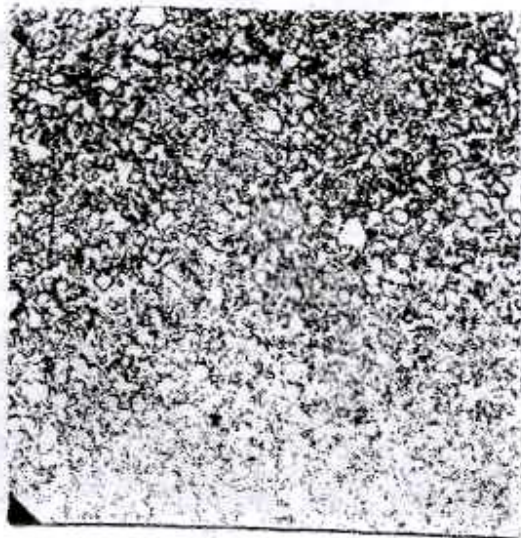
52



53



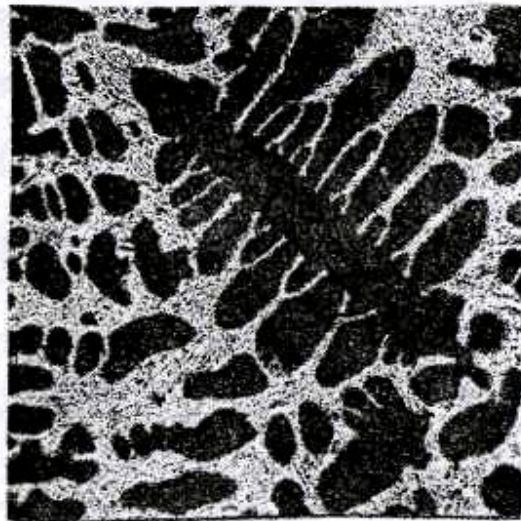
54



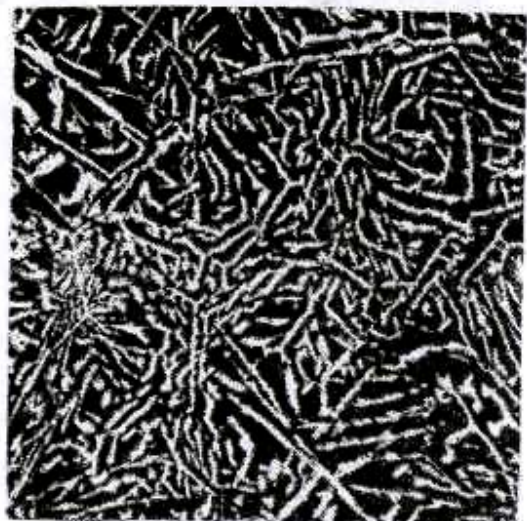
55



56



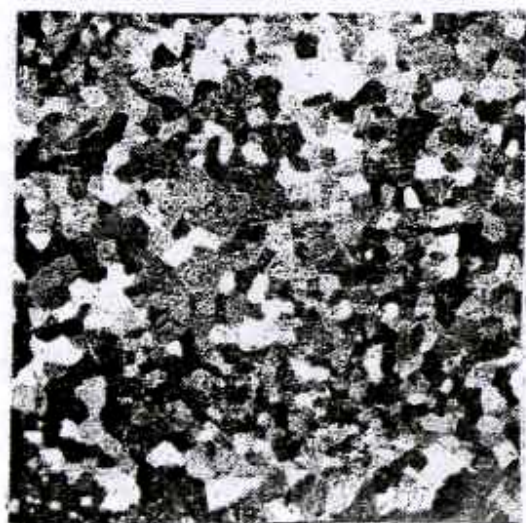
57



58



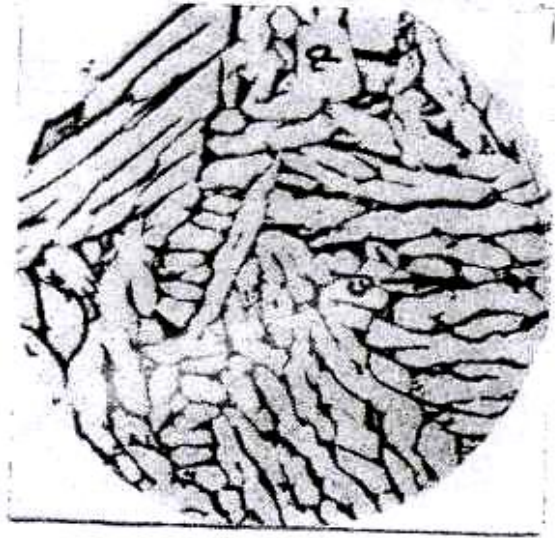
59



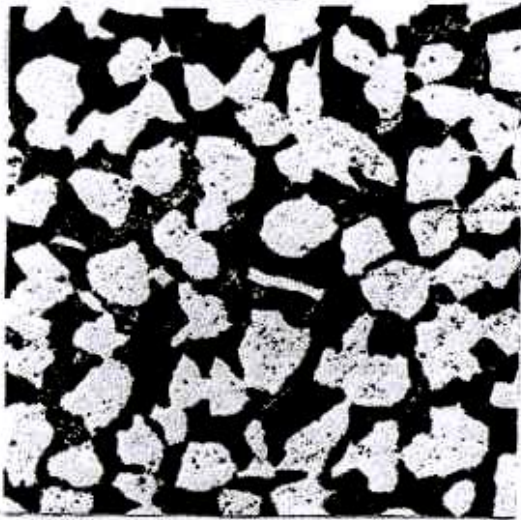
60



61



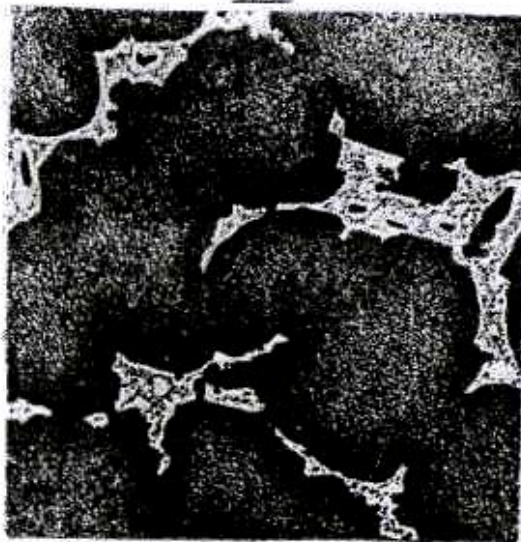
62



63



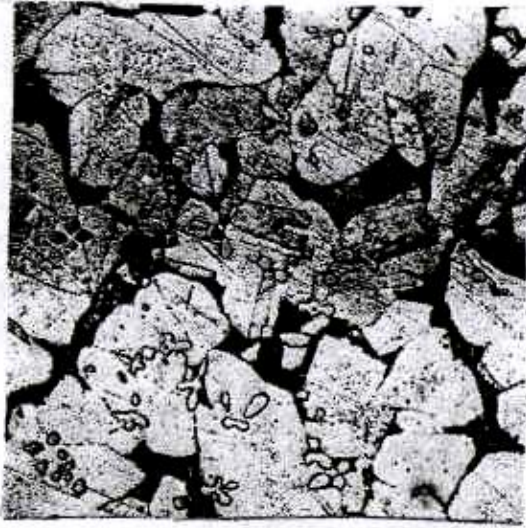
64



65



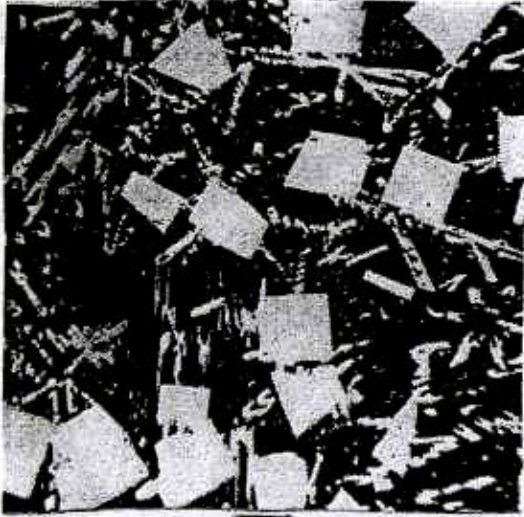
66



67



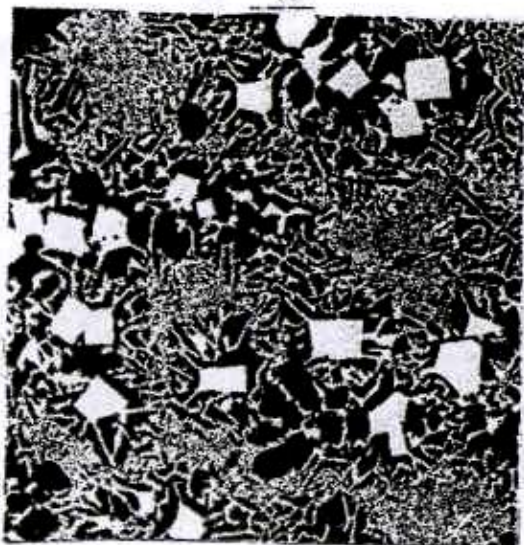
68



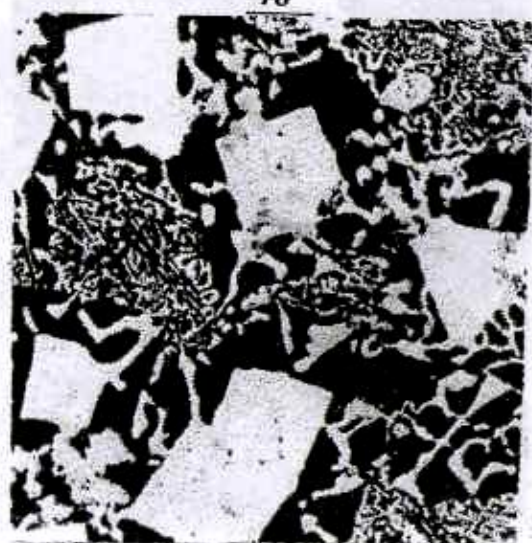
69



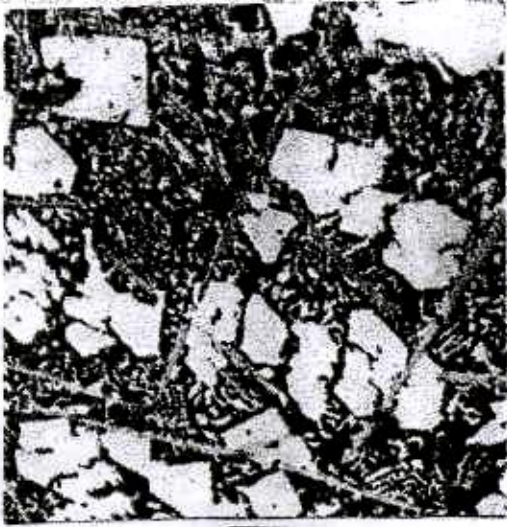
70



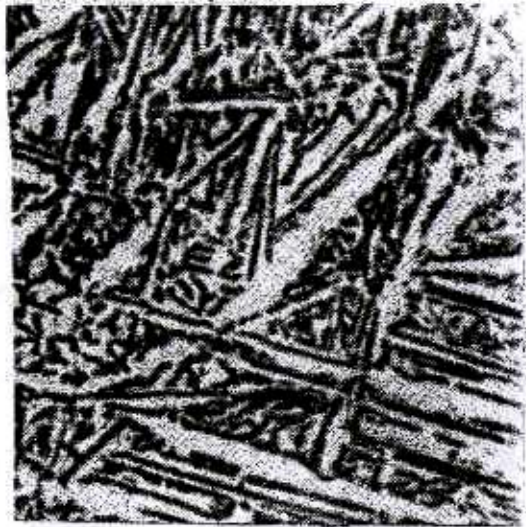
71



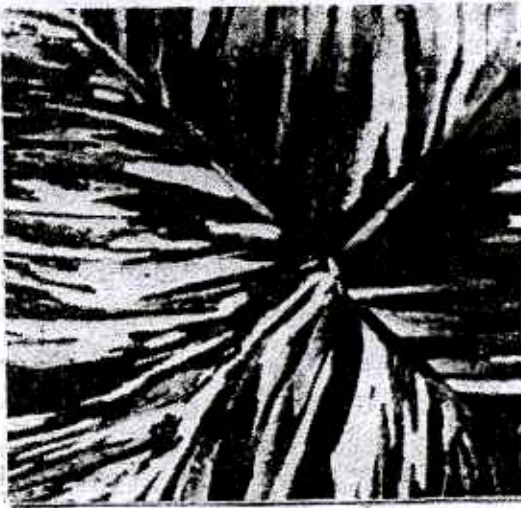
72



73



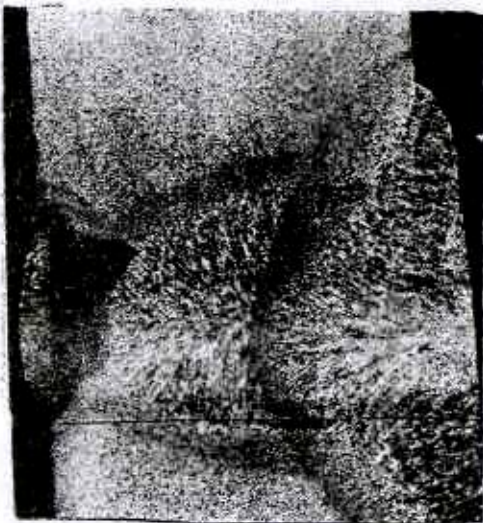
74



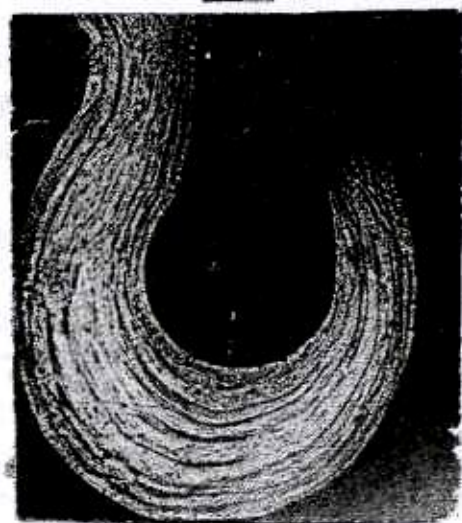
75



76



77



78

Методичне видання

І. В. Кругляк

к.т.н. доцент

Д. О. Кругляк

к.т.н. доцент

МЕТАЛОЗНАВСТВО

Методичні вказівки

до лабораторних і практичних робіт

для студентів ЗДІА

першого (бакалаврського) рівня

спеціальності «Металургія»

Підписано до друку 22.05.2017р. Формат 60x84 1/32. Папір офсетний.

Умовн. друк. арк. 5,6. Наклад 1 прим.

Внутрішній договір № 77/17

Запорізька державна інженерна академія
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 2958 від 03.09.2007 р.

Віддруковано друкарнею
Запорізької державної інженерної академії
з оригінал-макету авторів

69006, м. Запоріжжя, пр. Соборний, 226
ЗДІА